

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL
SISTEMA DE SUMINISTRO DE RECURSO HÍDRICO
PARA EL LABORATORIO DE EXPERIMENTACIÓN
AGROTÉCNICA Y DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

KEVIN CAMILO GUTIERREZ GAITAN

JOSE DANIEL VARGAS CORREDOR

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE BIOINGENIERÍA
BOGOTÁ, D.C.

2018

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL
SISTEMA DE SUMINISTRO DE RECURSO HÍDRICO
PARA EL LABORATORIO DE EXPERIMENTACIÓN
AGROTÉCNICA Y DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA.**

KEVIN CAMILO GUTIERREZ GAITAN

JOSE DANIEL VARGAS CORREDOR

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

BIOINGENIERO

Director:

JUAN MIGUEL ESCOBAR ROA

Modalidad:

**DESARROLLO DE PRODUCTO ENMARCADO EN PROYECTOS DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA.**

Universidad el bosque

Facultad de ingeniería

Programa de bioingeniería

Bogotá D.C, Colombia

2018

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	6
GLOSARIO	10
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN.....	17
3. OBJETIVOS.....	18
3.1. OBJETIVO GENERAL	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. MARCO REFERENCIAL.....	19
4.1. ESTADO DEL ARTE	19
4.2. MARCO TEÓRICO	24
4.2.1. Agua.....	24
4.2.1.1. El agua a nivel agrícola.....	24
4.2.2. Filtros	25
4.2.2.1. Tipos de filtros de agua.....	25
4.2.3. Agricultura	26
4.2.3.1. Sistema de riego por goteo	26
4.2.3.2. Sistema de riego por aspersión.....	26
4.2.3.3. Sistema de riego por micro aspersión.....	27
4.2.3.4. Sistema de riego por nebulización	27
4.2.3.5. Sistema de riego automático.....	28
4.2.3.6. Invernaderos para semilleros.....	28
4.2.4. Sensores.....	28
4.2.4.1. pH en agua	28
4.2.4.2. Conductividad en agua	29
4.3. MARCO LEGAL	30
4.3.1. Ley 09 de 1979.....	30
4.3.2. Decreto 3930 de 2010.....	30
4.3.3. Decreto 1076 de 2015.....	30
4.3.4. Criterio de toxicidad.....	32
4.3.5. Calidad de agua para uso potable.....	32
4.3.6. Calidad de agua para uso agrícola.....	32
5. LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS.....	33
6. METODOLOGÍA	35

6.1. PROYECTO GENERAL: LEATYER.....	36
6.2. ZONA 1: DISTRIBUCIÓN HÍDRICA RESERVORIO- TANQUES DE ALMACENAMIENTO 37	
6.3. ZONA 2: DISTRIBUCIÓN TANQUE DE ALMACENAMIENTO - DOMOS - CULTIVO EN SUELO.....	38
6.4. ZONA 3: CULTIVO EN SUELO.....	39
7. DESARROLLO	40
7.1. ETAPA DE DISEÑO	40
7.1.1. Diagnóstico y evaluación inicial	40
7.1.1.1. Caracterización del área de trabajo	40
7.1.1.2. Caracterizaciones variables mecánicas del sistema de bombeo reservorio	45
7.1.1.3. Caracterización variables mecánicas de los tanques de almacenamiento	45
7.1.2. Diseño global del sistema.....	46
7.1.3. Diseño detallado.....	49
7.1.3.1. Evaluación implementación sistema de adecuación recurso hídrico	49
7.1.3.2. Evaluación sistema organizacional tanques de almacenamiento	50
7.1.3.3. Evaluación sistema bypass acueducto-tanques de almacenamiento	50
7.1.3.4. Evaluación sistema de irrigación en domo de germinación	50
7.1.3.5. Evaluación sistema de irrigación cultivo en suelo	51
7.1.3.6. Evaluación sistema de monitoreo pH y conductividad en agua	53
7.1.3.7. Evaluación interfaz con el usuario.....	53
7.2. ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN	53
7.2.1. Reparaciones	53
7.2.2. Mantenimiento del reservorio aguas lluvias	55
7.2.3. Análisis físico-químicos y microbiológicos del recurso hídrico	56
7.2.4. Sistema de adecuación recurso hídrico	59
7.2.5. Sistema organizacional tanques de almacenamiento	64
7.2.6. Sistema bypass acueducto-tanques de almacenamiento	67
7.2.7. Sistema de bombeo tanques de almacenamiento- domos – cultivo.....	70
7.2.8. Llave adicional cultivo en suelo	71
7.2.9. Sistema de irrigación cultivo en suelo.....	73
7.2.10. Sistema de monitoreo y automatización general.....	76
7.2.11. Interfaz con el usuario.....	83
8. RESULTADOS.....	84
9. DISCUSIÓN	96
10. CONCLUSIONES	100
11. REPORTE PRESUPUESTAL.....	101

12. RECOMENDACIONES.....	105
BIBLIOGRAFIA	106
ANEXOS	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Árbol problema.	16
Figura 2. Sistema de distribución, bombeo y filtrado de Novedades Agrícolas.	20
Figura 3. Pívor accionado por motor eléctrico.	20
Figura 4. Riego por gravedad en cultivo de hortalizas.	21
Figura 5. Sistema de irrigación móvil.	24
.....	24
Figura 6. Zonas del proyecto LEATYER.	35
Figura 7. Metodología proyecto general, LEATYER.	36
Figura 8. Metodología Zona 1, LEATYER.	37
Figura 9. Metodología Zona 2, LEATYER.	38
Figura 10. Metodología Zona 3, LEATYER.	39
Figura 11. Zona proyecto LEATYER por intervenir.	41
Figura 12. Reservorio aguas lluvia.	41
Figura 13. Sistema de bombeo del lago artificial.	42
Figura 14. Manguera del reservorio a los tanques.	42
Figura 15. Cortes en la manguera de distribución. (A Corte 1, B Corte 2)	43
Figura 16. Tanques de almacenamiento y sistema de filtrado.	43
Figura 17. Filtros arena, sedimentación, carbón activado.	44
Figura 18. Domo de germinación, Cultivo en Suelo, Domo de hidroponía.	44
Figura 19. Presión de agua en la salida de la manguera que conecta al tanque.	45
Figura 20. Prueba caudal saliente del tanque de almacenamiento.	46
Figura 21. Diagrama de bloques ingeniería básica del proyecto.	47
Figura 22. Diagrama de bloques ingeniería básica del proyecto.	48
Figura 23. Diagrama de bloques ingeniería básica del proyecto.	49
Figura 24, Diseño estructura germinación.	51
Figura 25, Zona cultivo en suelo.	52
Figura 26. Manguera bajo suelo.	54
Figura 27. Unión universal.	54
Figura 28. Antes y después del enterrado de la manguera.	55
Figura 29. Reparación y adecuación de manguera con cortes.	55
Figura 30. Limpieza de la superficie del reservorio de aguas lluvia.	56
Figura 31. Limpieza manguera de la bomba del reservorio.	56

Figura 32. Toma de muestras realizada por Hidrolab Colombia LTDA.	57
Figura 33. Prueba de pH, temperatura y Conductividad en agua realizada con multiparametro.	58
Figura 34. Toma de medidas de reservorio y de tanques.	59
Figura 35, Diseño filtro reservorio Fusion 360.	59
Figura 36. Materiales para construcción de filtro de malla en reservorio.....	60
Figura 37. Materiales para construcción de filtro de malla en reservorio.....	60
Figura 38. Construcción de filtro de malla en reservorio.	61
Figura 39. Construcción de filtro de malla en reservorio.	61
Figura 41, Implementación de filtro de malla de filtro en reservorio.	62
Figura 42, Diseño filtro tanques almacenamiento	63
Figura 43. Filtro Karcher K47300590 en tanque de almacenamiento.	63
Figura 44. Funcionamiento filtro tanques almacenamiento.	64
Figura 45. Plataforma tanque 1.	64
Figura 46. Cerca rocas y conexiones tanque 1.....	65
Figura 47. Diseño zona de tanque 2 almacenamiento y distribución.....	65
Figura 48. Construcción zona de tanque almacenamiento y distribución.....	66
Figura 49. Posicionamiento tanque almacenamiento.....	66
Figura 50. Construcción zona de tanque almacenamiento y distribución.....	67
Figura 51. Conexión reservorio-caja de inspección. (A Antes, B Después, C Vista general)	67
Figura 52. Conexión Tanque almacenamiento reservorio - acueducto en caja de inspección. ...	68
Figura 53. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.	69
Figura 54. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.	69
Figura 55. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.	70
Figura 56. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.	70
Figura 57. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.	71
Figura 58. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.	71
Figura 59, Diseño estructura germinación	72
Figura 61. Llave de agua externa en cultivo en suelo	72
Figura 62, Zona cultivo en suelo, tipo de riego.	73
Figura 63, Zona cultivo en suelo, tipo de riego.	74
Figura 64, Zona cultivo en suelo, tipo de riego.	74
Figura 65. Mangueras de riego cultivo en suelo	75
Figura 66. Diagrama de bloques irrigación para el cultivo en suelo.	75
Figura 67. Diagrama de bloques sistema de monitoreo e irrigación.....	76

Figura 68. Llave de agua externa en cultivo en suelo	77
Figura 69. Llave de agua externa en cultivo en suelo	77
Se realizó el corte de la formaleta dimensionada según las medidas expuestas en el diseño planteado, en la figura 70 se observa la formaleta dispuesta para su armado.....	77
Figura 70. Llave de agua externa en cultivo en suelo	78
Figura 71. Llave de agua externa en cultivo en suelo	78
Figura 72. Llave de agua externa en cultivo en suelo	79
Figura 73. Llave de agua externa en cultivo en suelo	79
Figura 74. Llave de agua externa en cultivo en suelo	80
Figura 75. Mangueras de la caja de electroválvulas	80
Figura 76. Conexiones del rack de relés y el microcontrolador	81
Figura 77. Llave de agua externa en cultivo en suelo	81
Figura 78. Cajas de monitoreo para cultivo en suelo	82
Figura 79. Componentes caja de monitoreo para cultivo en suelo.....	82
Figura 80. Mangueras de riego cultivo en suelo	83
Figura 81. Interfaz de usuario BLYNK	83
Figura 82. Adecuación manguera bajo el suelo	84
Figura 83, Reparaciones correspondientes manguera.	85
Figura 84, Limpieza reservorio aguas lluvias.	85
Figura 85, Implementación de filtro de malla de filtro en reservorio.	87
Figura 86. Adecuación tanque uno.	87
Figura 87. Filtro Karcher K47300590 implementado en tanque de almacenamiento.	88
Figura 88. Sensor nivel acueducto entrada tanque almacenamiento.	88
Figura 89. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.	89
Figura 91, Implementación sistema de almacenamiento y bombeo.	89
Figura 92, Implementación sistema de almacenamiento y bombeo.	90
Figura 93. Implementación llave de agua adicional.	90
Figura 94. Sistema de electroválvulas cultivo en suelo.	91
Figura 95. Cajas de monitoreo cultivo en suelo.	91
Figura 96. Sensor de humedad cultivo en suelo.	92
Figura 97. Control electroválvulas mediante aplicación BLYNK.	92
Figura 98. Control electroválvulas mediante aplicación BLYNK.	93
Figura 99. Métodos de riego para cultivo en suelo.....	93
Figura 100. Diferentes sistemas del LEATYER.	94

Figura 101. Recorrido hídrico, zona reservorio.....	95
Figura 102. Recorrido hídrico, zona domos y cultivo en suelo.....	95

GLOSARIO

Conductividad Eléctrica. la conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición (IDEAM, 2006).

pH. el pH es un parámetro que mide la acidez o alcalinidad de una solución. Este valor indica la relación entre la concentración de iones libres de H⁺ y OH⁻ presentados en una solución y tiene unos rangos entre 0 y 14 (Trejo Téllez & Gómez Merino, 2012).

Filtro. un filtro es un aparato o dispositivo que permite llevar el recurso a utilizar por un sistema de purificación para remover la presencia y excesos de organismos o elementos no deseados (Nandhini, Usha, Palanivelu, 2012).

Desarrollo Sostenible. un desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (Brundtland, 1987).

Riego. consiste en aportar agua al sustrato, para que las plantas (hortalizas, pastos, hierbas, ornamentales, etc.) puedan crecer y/o desarrollarse. Ésta es una actividad necesaria tanto en la hidroponía, como en la agricultura tradicional y la jardinería (Tarjuelo Martín-Benito, J. M. ,1995).

Automatización. es el uso o implementación de tecnologías para crear instrucciones o procesos repetibles a fin de reemplazar o reducir la interacción humana con los sistemas. (RedHat, 2018).

Recurso Hídrico. hace referencia a todas las aguas existentes en un territorio, disponibles para su interacción con el ser humano. (Rodríguez, 2012).

Reservorio aguas lluvia. se define como un embalse, cuenca o depósito en donde se acumula el agua de las lluvias recientes, para suministrar el recurso hídrico en horas de demanda. (Radulovich, 1994).

Flujo. hace referencia al movimiento de un fluido en función de ciertas variables físicas como densidad, volumen, presión, etc. (Levenspiel, 2004).

Humedad Relativa. se define como la razón entre la presión de vapor de agua y la presión de vapor saturado a la temperatura dada (Roa,2017).

Temperatura. magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente (Roa, 2017).

Sustrato. es todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta (Roa, 2017).

Calidad de Agua. hace referencia a la capacidad intrínseca que podría tener el agua en función al uso que se le vaya a dar, incidiendo de manera directa sobre un ecosistema o la salud humana. (Fibrasynormasdecolombia.com, 2004).

Caudal. se puede definir como el volumen de un fluido que circula por un área o espacio determinado, pudiendo ser un ducto, en un tiempo específico. (Fibrasynormasdecolombia.com, 2004).

Presión. es una magnitud física escalar que equivale a la fuerza que se ejerce o actúa sobre una superficie (Ecured.cu, 2011)

RESUMEN

Este proyecto se desarrolló bajo la modalidad de Desarrollo de Producto Enmarcado en Proyectos de la Facultad de Ingeniería teniendo como fin, el diseño, construcción e implementación del sistema de suministro de recurso hídrico para el Laboratorio de Experimentación Agrotécnica y de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería (LEATYER) de la Universidad El Bosque, Campus Chía. Para la realización del proyecto se establecieron diferentes fases, en la primera, se realizó la adecuación del reservorio de aguas lluvia, implementando un sistema de filtrado según los resultados dados por el análisis físico-químico realizado, del reservorio proviene el 75% del recurso hídrico, teniendo en cuenta los 2000L de almacenamiento, el cual es distribuido aproximadamente a 150 metros hasta los tanques de almacenamiento por un sistema de bombeo con una presión de 60 PSI, este recurso distribuido cumple con la normativa de calidad de agua para uso agrícola según el Decreto 1076 de 2015. En la siguiente fase se realizó la adecuación del área de los tanques de almacenamiento, en donde se dispuso de dos tanques en serie de 1000 L cada uno, un sistema de bypass con el acueducto el cual brinda el 15% del recurso hídrico, y un segundo sistema de bombeo con una presión de 45 PSI para realizar la distribución hacia las diferentes áreas del LEATYER (área de domos y área de cultivo en suelo), en la última fase se realizó la distribución del recurso hídrico en el cultivo en suelo teniendo en cuenta los requerimientos dados por la facultad: un área disponible de 217.5 m², 16 camas de cultivo de 6.65 x 1.25 metros, 4 de ellas con riego por micro aspersion y 12 con riego por goteo, adicionalmente en la zona de cultivo en suelo se dispuso de una llave auxiliar de salida de agua para las diferentes labores de aseo o riego, un sistema de riego automatizado para las camas de cultivo y un sistema de comunicación vía WIFI con el usuario para el control del sistema.

PALABRAS CLAVE: suministro, adecuación, automatización, telecontrol, recurso hídrico, riego.

INTRODUCCIÓN

En Colombia el agro ha mostrado en más de una década bajos niveles de crecimiento en su productividad, a pesar de tener una excelente ubicación geográfica y contar con el potencial humano necesario (SAC, 2104). Actualmente el sector agrícola contribuye al total del Producto Interno Bruto entre un 10 y 14 %. En Latinoamérica, países como Perú y México cuentan con universidades dedicadas al desarrollo del sector agrícola, y cabe destacar a India como uno de los países que centra su actividad económica en el agro, por lo cual, se ha convertido en un referente para las investigaciones que se realizan entorno a la agricultura. Estos países cuentan con entidades públicas y privadas dedicadas exclusivamente a la investigación y el desarrollo tecnológico de esta área, generando el fortalecimiento del sector y logrando una mayor competitividad en este mercado.

En Colombia, el ICA es la única entidad encargada de la dinamización del sector agrícola, sin embargo, su propósito principal es regular la actividad económica, dejando a otras instituciones la función de investigar. Uno de los referentes a nivel nacional es la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, la cual cuenta con un centro de investigación de agricultura y biotecnología (CIAB), ubicado en el departamento de Risaralda y está encargado de la investigación Agrícola principalmente de proyectos productivos típicos de la región del eje cafetero y del sur del país.

En Cundinamarca no se conoce ninguna Universidad que ofrezca servicios en este sentido. Por esta razón, se evidencia un potencial en este campo de acción para la Universidad El Bosque a través del programa de Bioingeniería con la construcción de un laboratorio agrícola que permita la transferencia de los conocimientos fundamentales al ejercicio práctico y aplicado en la solución de problemáticas reales del sector agrícola de la región. Soluciones que ataquen esas necesidades que se tiene en el sector agrícola, por medio de implementaciones tecnológicas que puedan ofrecer un mejor desempeño y reducir considerablemente los costos a futuro que se puedan presentar por diferentes motivos, implementaciones tecnológicas tales como la automatización de procesos agrícolas y el mejoramiento de algunas de sus técnicas para cultivos.

Basándose en los ejes formativos que ha propuesto el programa de Bioingeniería de la

Universidad El Bosque: **Seguridad alimentaria, Energías Renovables, Salud y Relación Hombre – Agua** y teniendo en cuenta los principios de la producción de plantas con fines alimentarios, farmacéuticos, ornamentales y potenciales remediadores, se denota la necesidad de crear un espacio que permita evaluar los comportamientos fisiológicos y productivos de dichas plantas bajo condiciones experimentales como alteraciones de las variables físicoquímicas del sustrato y del agua de riego, alteraciones de las características climáticas (estructura del sustrato, fotoperiodos, temperatura, pH, humedad relativa, radiación, etc.), uso de organismos que causan alteraciones en las plantas tratadas o que se encuentren cercanas a éstas (fitopatógenos, plantas alelopáticas, plagas, organismos controladores o promotores de crecimiento). El laboratorio iniciará en su primera fase con el desarrollo de tres proyectos:

- Planta de cogeneración con fuentes de energías renovables
- Sistema de cultivos en suelo – sistemas de producción agrícola
- Sistema cultivos sin suelo – agricultura de precisión

Los proyectos serán desarrollados por la comunidad académica del programa de Bioingeniería (estudiantes, docentes, investigadores y administrativos), asociando actividades de clase con trabajos de investigación, trabajos de grado y proyectos de semilleros en el área, integrando en todas las etapas del presente proyecto, los conocimientos de diseño, implementación y puesta en marcha de desarrollos de ingeniería. El centro principal del concepto asociado al desarrollo del presente proyecto se encamina al saber hacer, núcleo fundamental de la actividad ingenieril, la cual se debe potencializar al máximo en la culminación del proceso formativo de los futuros ingenieros del país.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, el *Laboratorio Agrícola* del programa de Bioingeniería se convertirá en un centro de transferencia tecnológica para el sector agrícola, teniendo como principal población beneficiada, los campesinos de la sabana de Bogotá y sus alrededores.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

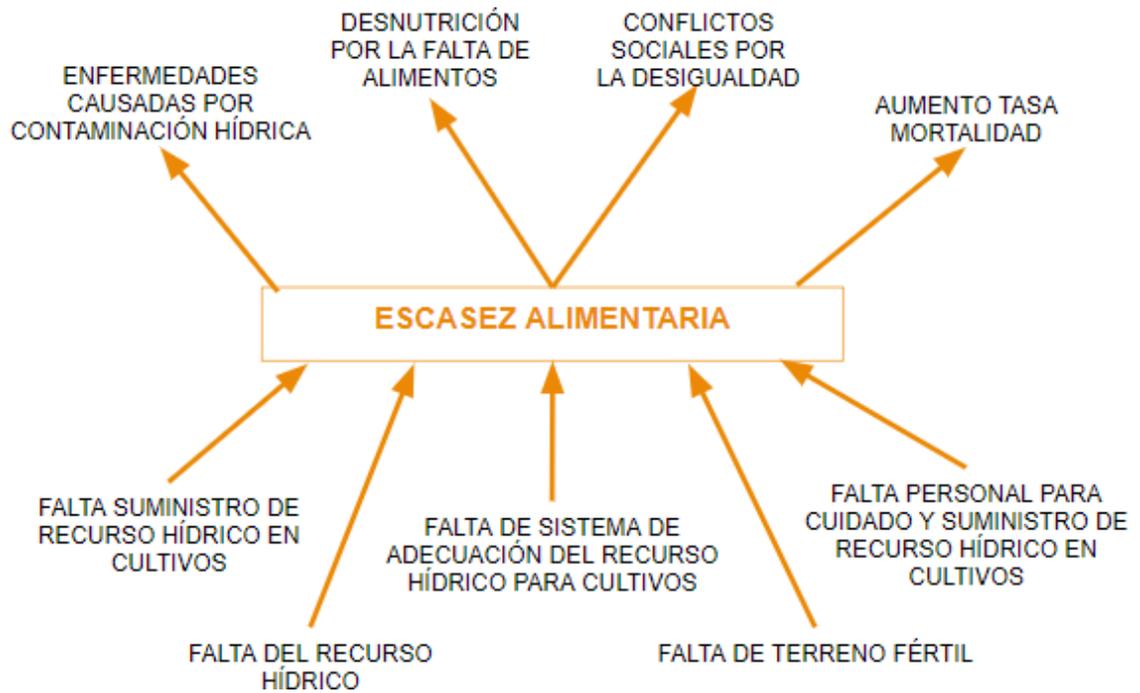
El agua se considera indispensable para garantizar derechos como la salud, alimentación y saneamiento ambiental, es un tema prioritario en el desarrollo sostenible en el mundo, (Díaz Pulido et al., 2009) razón por la cual es necesario crear mecanismos para cuidar y gestionar el uso del recurso en los diferentes ámbitos: agricultura, industria y energía, sector doméstico, ciudades y ecosistemas.

En el caso o de la agricultura este supone uno de los sectores en los que se consume más cantidad de agua alrededor del mundo; es aproximadamente el 70% de las extracciones de agua en todo el mundo donde es extraída alrededor de 3600 km³ de agua anualmente, y la mitad es evaporada y transpirada por las plantas, por lo que el riego consume la mayor parte del agua que se extrae esto sin tener en cuenta las lluvias que favorecen tanto a la agricultura seco y de regadío. (FAO, 2002). A medida que pasan los años en la industria agrícola se ha incrementado la producción de alimentos lo que genera una mayor demanda del agua, pero debido a la creciente escasez o la mala calidad de esta se ha buscado diferentes alternativas para aprovecharla.

El programa de Bioingeniería busca proponer soluciones tecnológicas sostenibles y replicables para el sector agroindustrial, destinado a la agricultura tradicional y urbana, para ello el programa desarrolla actualmente el Laboratorio de Experimentación Agro Técnica y Energías Renovables en el campus Chía de la Universidad el Bosque en la zona suroriental. El Laboratorio cuenta con tres tipos de cultivos, uno en suelo, uno hidropónico con fines investigativos y educativos y un cultivo de germinación. Con este fin se busca la implementación de un sistema suministro del recurso hídrico para las diferentes áreas dispuestas para la producción agrícola en el laboratorio del campus de la Universidad el bosque en Chía, y el diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo que garantice el flujo en todas las zonas del Laboratorio.

La realización del proyecto en el Laboratorio de Experimentación Agro Técnica y Energías Renovables tiene como objetivo realizar un modelo para ser aplicado a la solución de problemas reales en el sector agrícola con el fin de buscar la sostenibilidad hídrica y alimentaria y de esta forma mejorar la seguridad alimentaria.

Figura 1. Árbol problema.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018)

2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se ha dado un gran desarrollo en el área del diseño de sistemas que permitan el monitoreo de las variables ambientales en los cultivos, con el fin de automatizar ciertos procesos que permitan un desarrollo sostenible en el área agrícola. El monitoreo de las diferentes variables implicadas en el desarrollo de un sistema de regadío como el hidropónico o los métodos de riego para los cultivos tradicionales permiten mejorar el uso del agua en la agricultura.

Con la necesidad constante de la humanidad de optimizar y racionalizar el consumo de agua utilizada en los sistemas de riego es imperativo la necesidad de implementar un sistema de riego eficiente en los cultivos del campus de la universidad, por lo tanto, se realiza el diseño para el sistema de suministro y monitoreo hídrico para los cultivos presentes en el Laboratorio que mejor se adapte a las necesidades de los mismos.

Esto con el fin de brindar alternativas de aprovechamiento y mejora de las fuentes hídricas que están presentes en el campus de la Universidad el Bosque ubicado en el municipio de Chía con un sistema de riego que permita minimizar los costos de instalación y el cual sea de continua adaptabilidad para el cultivo de época en pro de aumentar la productividad eficiencia y eficacia de la producción en los cultivos tradicionales; asegurando el consumo óptimo del agua y rentabilidad de los mismos.

El proyecto se desarrolla al evidenciar la necesidad que presenta el Campus Chía de la Universidad del Bosque en la implementación de un sistema de suministro de agua para el cultivo en suelo, hidropónico y de germinación, así como el monitoreo de las variables críticas en el sistema.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir e implementar un sistema de suministro de recurso hídrico para el Laboratorio de Experimentación Agro Técnica y de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar los análisis físico-químicos y microbiológicos necesarios para determinar el estado del agua disponible en los reservorios de agua lluvias de campus Chía.
- Evaluar la implementación de un sistema de adecuación del recurso hídrico según la información adquirida por los análisis y de ser factible realizar el diseño y la implementación del sistema de adecuación.
- Diseñar, construir e implementar un sistema de distribución de recurso hídrico que se adecue a los requerimientos de los cultivos presentes en los tres espacios del Laboratorio de Experimentación Agro Técnica y Energías Renovables (Germinación, Cultivos hidropónicos, Cultivos en suelo).
- Diseñar, construir e implementar un sistema de monitoreo remoto de pH en agua y conductividad del agua.
- Diseñar, construir e implementar un sistema que determine la frecuencia de riego de manera controlada para cada uno de los espacios.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ESTADO DEL ARTE

Los sistemas de riego son un conjunto de mecanismos y estructuras que facilitan y hacen posible la aplicación del recurso hídrico necesario a una determinada área de cultivo. Desde tiempos antiguos se han llevado técnicas y procedimientos para el riego, con los años se fueron destacando técnicas de riego más avanzadas que facilitaban el trabajo en la agricultura mejorando su producción. Estos diversos procedimientos permiten la distribución eficiente del recurso hídrico sobre la superficie del suelo a usar, también facilitan el trabajo del agricultor al suministrar los abonos necesarios y evita problemas de producción en tiempos de sequía.

Dentro de los sistemas de riego más utilizados a nivel mundial se encuentra el riego por goteo, esta es la técnica la cual se difundió con mayor fuerza por el mundo, consiste en llevar el recurso hídrico al cultivo por medio de tuberías que, en su mayoría, son de plástico, estas se disponen a lo largo de hileras o plantaciones para entregar el recurso hídrico de una forma lenta pero frecuente por medio de dispositivos llamados goteros o emisores. (IV Seminario Latinoamericano de riego por goteo, 1981). Estos goteros son integrados en la propia tubería, los goteros que se pinchan suelen ser más prácticos para el uso en jardineras o zonas donde se desperdiga más las plantas. Empresas como Novedades Agrícolas lleva 35 años implementando sistemas de riego por goteo e intentando mejorarlos mediante el uso de la tecnología, añadiendo mejoras como los goteros antidrenantes y regulables. (Sistemas de Riego, 2016)

El objetivo del sistema de riego por goteo es mantener un alto potencial mátrico del agua en un volumen reducido de suelo, este se consigue mediante la aplicación frecuente de agua, reemplazando lo consumido por las plantas el anteriormente. La mantención de un potencial hídrico del suelo elevado es una de las ventajas atribuidas al riego por goteo, lo que se reflejaría en una mayor producción, respecto a sistemas de riego superficiales. Este tipo de manejo se adecua perfectamente a suelos de texturas gruesas, de baja capacidad de retención de humedad y buenas condiciones de aireación. (Ferreyra E. et al, 2003)

Figura 2. Sistema de distribución, bombeo y filtrado de Novedades Agrícolas



Nombre de la fuente: (Sistemas de riego, 2016).

Un segundo sistema de los más utilizados es el riego por aspersión, este consiste en conducir el agua a través de aspersores que humedecen el terreno de forma similar a cuando llueve, actualmente existen sistemas de aspersión móviles, fijos y autopropulsados.

Figura 3. Pívorot accionado por motor eléctrico.



Nombre de la fuente: (Sistemas de riego, 2016).

Gracias a este tipo de sistema se han realizado proyectos en el área agrícola con equipos hidráulicos automatizados para disminuir el costo de producción y realizar las tareas de una forma más sencilla abarcando grandes áreas de cultivo o aprovechar mejor los espacios en invernaderos. (Mendoza, Gruber, Torrealba, Lugo, 2010). Otro de los sistemas de riego es el riego por gravedad, este consiste en la distribución del agua a través de canales que están dispuestos a lo largo del terreno o área en donde se tenga el cultivo. Este riego en la actualidad es una de los más económicos debido a su infraestructura y sus requerimientos energéticos son prácticamente nulos. (Sistemas de Riego, 2016) Actualmente también es posible utilizar tuberías multicompuertas, esta técnica permite distribuir el agua por medio de tomas hidratantes o tuberías conectadas a la fuente de abastecimiento.

Figura 4. Riego por gravedad en cultivo de hortalizas.



Nombre de la fuente: (Sistemas de riego, 2016)

Uno de los sistemas recientes, es el sistema de riego por nebulización, este sistema consiste en distribuir por todo el lugar de cultivo unos pulverizadores de agua que distribuyen gotas por todo el ambiente, generando una niebla, absorbiendo parte de la energía solar recibida, humedeciendo y enfriando el invernadero. Los nebulizadores producen niebla fina, el agua a presión sale por un orificio de pequeño diámetro, de forma que el chorro producido se estrella contra una pared cóncava que lo despide y distribuye en forma nebulizada (Sistemas de Riego, 2016). La vaporización del agua aportada mediante nebulización, absorbe calor del aire del invernadero y por tanto baja también la temperatura del ambiente, con lo que se logran reducir variables como el Déficit de presión de vapor (DPV). (Romero, Soriano, Casadesús, Suárez, Antón, Castilla, 2009).

Para el caso del riego hidropónico, este sistema de riego se realiza una solución nutritiva que permite mejorar la relación entre las raíces y el agua lo que favorece el desarrollo del cultivo ya que la nutrición de este es más controlada. En el caso de utilizar un sistema de recirculado o cerrado se aprovechan los nutrientes presentes, igualmente se debe realizar un sistema que determine un porcentaje de drenaje con el fin de no salinizar el ambiente y sobre todo si el agua presenta gran concentración salina. (Magám Cañadas, n.d.). Las ventajas de tener un cultivo hidropónico es que permite un mayor control del cultivo, su automatización y la optimización del recurso hídrico, mejorando la producción y reduciendo la probabilidad de enfermedades en los cultivos. (Sistemas de Riego, 2016)

El NFT (Nutrient Film Technique) es un sistema de riego o aporte de nutrientes en

hidroponía que utiliza la recirculación del agua o intermitente en una lámina fina de la solución nutritiva con la que tiene contacto las raíces, pero a la vez estas no están sumergidas completamente en un sustrato. Por lo que la planta se encuentra suspendida en un canal de cultivo por donde fluye la solución nutritiva la cual circula continuamente por unos canales rectangulares de PVC (canales de cultivo) que se encuentran ligeramente inclinados para permitir la circulación del agua, que posteriormente es recolectada y almacenada en el tanque. Dentro de lo que se necesita para construir un sistema de recirculación como este se busca tener: un tanque colector que almacena el drenaje y debe tener una boya que cierre y abra la tubería teniendo en cuenta el agua que se debe aportar constantemente desde el exterior del sistema. Una bomba de impulsión es necesaria para surtir el agua a los canales desde el tanque colector o de depósito. Las canales y la tubería de distribución por las cuales circula la solución. (INCAP, 2006)

La automatización de estos sistemas, gracias al avance tecnológico, ha logrado que tareas tediosas como el encendido y apagado de dispositivos, la fertilización de manera simultánea o separada del riego y el control que se requiere para prevenir incidentes como la humedad, temperatura e intensidad de luz puedan llegar afectar al cultivo, sean una tarea sencilla de realizar.

Para esta automatización de los sistemas de irrigación, se han implementado los sistemas de telecontrol, estos permiten el control de riego para el cultivo a distancia, mediante un enlace de transmisión enviando y recibiendo órdenes. En cuanto a una red de riegos, la instalación de estos sistemas de telecontrol responde a su topología y a las características de la red hidráulica que se va a monitorizar, con el fin de controlar el gasto y las operaciones de riego (Canales A. et al, 2010)

Estos sistemas se basan en un centro de control que almacena los datos de la totalidad de la red hidráulica y las variables del cultivo, este recibe y envía la información de los sensores y actuadores ubicados en el cultivo. Las características a exigir en un sistema de telecontrol son las siguientes:

- Robustez de los elementos que se van a instalar
- Seguridad de los sistemas de comunicación y procesos de funcionamiento del sistema
- Anti vandalismo

- Autonomía
- Mantenimiento sencillo y económico
- Escalabilidad

Para un correcto funcionamiento y un adecuado cumplimiento de las expectativas depositadas para el usuario del sistema es necesario cumplir con estos requisitos (Canales A. et al, 2010)

Otros proyectos que buscan la automatización en sistemas de riego utilizan las siguientes estrategias para el control de irrigación en los sistemas:

- Lisímetro de pesada. Dispositivo para medir el contenido de humedad del suelo, se utilizan sensores para observar el cambio en el peso debido a la pérdida de agua en el monolito de suelo. Es utilizado para medir la evapotranspiración del cultivo.
- Sensor TDR. sonda de humedad del suelo, un robusto sensor de humedad del suelo con tecnología patentada. Proporciona una precisión continua y consistente para medir simultáneamente los tres parámetros de suelo más significativos: humedad, salinidad y temperatura.
- Balance hídrico climático. combinación de datos meteorológicos, datos específicos del cultivo y del suelo. (Castro Popoca, M., et al 2008).

El manejo de redes especiales y canales de aguas potables para riego han incrementado los elementos en la distribución hacia las áreas verdes logrando un mejor desarrollo de las nuevas tecnologías de dinámica de fluidos y, gracias a las tecnologías digitales se han adaptado los sistemas automatizados para áreas verdes. (Mendoza, Ortiz, Ponce de Leon & Rodriguez, 2007). Empresas como Irrivalle e Irrimec, Colombia e Italia respectivamente, han innovado en sistemas de irrigación móvil con el fin de facilitar el trabajo agrícola. Con innovaciones en sistemas de irrigación por aspersión, cañones viajeros y pivotes avances frontales, entre otros.

Figura 5. Sistema de irrigación móvil.



Nombre de la fuente: (Sistemas de riego, 2016).

Todos los avances en la actualidad se realizan con el fin de reducir el costo operativo de los productos a utilizar, la frecuencia de mantenimiento y reparación y la mano de obra en el campo, teniendo como fin mejorar la producción.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Agua

El agua es uno de los principales recursos que brinda la tierra, utilizados por la humanidad para la vida y su subsistencia, este en un compuesto con características únicas que da lugar a la gran mayoría de procesos químicos, físicos y biológicos de la naturaleza (García et al., 2016). Gracias a los diferentes estudios realizados por los químicos de la historia, se identificó que la molécula de agua resulta de la combinación de 3 átomos, uno de oxígeno y dos de hidrógeno, por la cual se identificó como H₂O, y tiene presencia en el 71% de la tierra, representando casquetes polares, glaciares, océanos, ríos, lagos, aguas subterráneas, entre otros (García et al., 2016).

4.2.1.1. El agua a nivel agrícola

Según un estudio realizado por la FAO (2002), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, se extraen aproximadamente 3600 km³ de agua dulce para consumo humano a nivel mundial, y de estos, el 69% es para uso agrícola, 9 de 32 a nivel de Colombia, el 38.89% del 100% del agua extraída a nivel nacional tiene como fin el uso

agrícola (FAO, 2000). El riego es la principal actividad agrícola que consume gran parte del agua extraída, generalmente es más del 50%, el 90% del agua que se usa para el suministro doméstico vuelve a los cauces de los ríos como aguas residuales. (FAO, 2002)

4.2.2. Filtros

Un filtro es un aparato o dispositivo que permite llevar el recurso a utilizar por un sistema de purificación para remover la presencia y excesos de organismos o elementos no deseados. Los filtros de agua proporcionan una mejor degustación y un mejor olor al agua potable mediante la eliminación de cloro y bacterias contaminantes. La compra de un filtro de encimera da como resultado una fuente de agua limpia y saludable que cuesta mucho menos que el agua embotellada agua. Los filtros de agua reducen en gran medida el riesgo de cáncer de recto, cáncer de colon y cáncer de vejiga al eliminar el cloro o subproductos de cloro del agua potable. (Nandhini, Usha, Palanivelu, 2012)

4.2.2.1. Tipos de filtros de agua

Pre-filtros: Eliminan elementos de tamaño relativamente grande, que, entre otros problemas, pueden dañar o colmatar rápidamente los filtros. Por ejemplo los filtros de cadenas, rejas, filtros cazapiedras, suelen ir situados aguas arriba de la estación de impulsión, o bien en puntos singulares dentro de la red de riego, si es que cumplen una función específica, como el caso de los filtros cazapiedras, que se colocan protegiendo a elementos de riego, como válvulas o hidrantes.

Filtros de anillas: El filtro de anillas es un tipo de filtro que realiza filtración en profundidad, y cuyo elemento filtrante está compuesto de una pila de anillas ranuradas o con superficie rugosa, entre cuyas caras quedan retenidas las partículas contaminantes. Tienen un funcionamiento especialmente positivo frente a algas y partículas orgánicas.

Filtros de arena: Este tipo de filtro realiza también filtración en profundidad, al igual que la anilla. El elemento filtrante puede ser arena, u otro material similar. El material contaminante queda retenido en los espacios que quedan entre las caras irregulares de las partículas de arena. La filtración que ofrecen es de gran calidad, pero ofrecen caudales de filtrados comparativamente pequeños.

Filtro de malla: Es un tipo de filtro que ofrece filtración en superficie, es decir, las partículas contaminantes quedan retenidas en la superficie de la malla, que es en sí, el elemento que realiza propiamente la filtración. Para aguas con sólidos en suspensión, como las

procedentes de pozos por ejemplo, estas presentan una gran eficiencia de filtrado. (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2014)

4.2.3. Agricultura

La agricultura se define como la actividad agraria que envuelve todas las acciones, por parte de la humanidad, que transforma el medio ambiente a un ambiente apto para el crecimiento de siembras, además se puede definir como el arte de cultivar la tierra, dando a entender que se realizan trabajos de tratamiento del suelo y el cultivo con fines alimenticios, o bien sea con fines de explotación de los recursos que se originan de forma natural o con ayuda del hombre, por ejemplo, vegetales, frutas, cereales, hortalizas, pasto, forrajes, entre otros (Saez, 2016).

4.2.3.1. Sistema de riego por goteo

Este tipo de sistema también es conocido como riego localizado, este es un método que permite una aplicación de agua en la zona deseada y la cantidad deseada, además se pueden implementar diferentes tipos de abonos e los sistemas agrícolas de las zonas áridas, tiene como ventajas que el agua irrigada se distribuye directamente en la zona de la planta o plantas cultivadas, este tipo de sistema se realiza mediante tuberías y emisores (Sistemas de riego, 2016).

Entre los emisores más conocidos se encuentran:

- Goteros autocompensantes: Flujo dió dentro de un rango amplio de presión.
- Goteros antidrenantes: Cierre automático al bajar la presión.
- Goteros regulables: Regulación del caudal.

Otra de sus más importantes ventajas a la hora de realizar una comparación con los otros sistemas de riego es que se reduce la evaporación del agua en el suelo, por lo cual se aprovecha más el agua irrigada en el cultivo (Sistemas de riego, 2016).

4.2.3.2. Sistema de riego por aspersión

Este tipo de sistema se conoce por realizar un reparto homogéneo del agua teniendo en cuenta variables climáticas como los desniveles del suelo, viento, necesidades del cultivo,

entre otras. (Sistemas de riego, 2016). De riego por aspersion de tiene dos tipos de sistemas:

- **Convencionales:**

- **Sistemas fijos:** se identifica por tener los aspersores en el marco establecido, ya sea enterrado o superficial, quedando con la altura adecuada con respecto al cultivo.

- **Sistemas semifijos:** Esencialmente son sistemas que se pueden desplazar dependiendo de los requerimientos del cliente, el desplazamiento puede ser manual o mecanizado, generalmente en este tipo de sistemas se encuentran las alas de riego y los cañones de riego.

- **Auto mecanizados:**

Llevan incorporados motores eléctricos o sistemas hidráulicos los cuales realizan un movimiento a lo largo de la superficie de riego.

Este tipo de sistema tiene un menor consumo de agua con respecto al sistema de riego por inundación, además los aspersores se prestan para terrenos irregulares ya que realizan una dispersión homogénea. Es frecuentemente usado para la aplicación de riego antihelada y la aplicación de fitohormonas. (Sistemas de riego, 2016).

4.2.3.3. Sistema de riego por micro aspersion

Este tipo de sistemas realiza el riego mediante gotas finas ya que poseen un deflector giratorio, el cual se denomina rotor o bailarina, que ayuda a aumentar el diámetro de irrigación de agua disminuyendo la tasa de precipitación con gotas más pequeñas. (Sistemas de riego, 2016).

4.2.3.4. Sistema de riego por nebulización

El sistema de riego por nebulización produce una niebla fina, esto se da ya que el agua sale a presión por medio de orificios de pequeño diámetro chocando con una pared cóncava que despidе el agua de forma nebulizada, estos sistemas trabajan con presiones en el rango de 2-4 bares. (Sistemas de riego, 2016). Este tipo de sistema se emplea generalmente en invernaderos y usualmente es un sistema automatizado para el riego de diferentes productos de abonos.

4.2.3.5. Sistema de riego automático

Este tipo de sistema resulta conveniente si se quiere ahorrar la mano de obra, el uso de agua y de energía, además mejora la eficiencia de riego y el operador puede controlar las operaciones con respecto al riego de esta forma se ve un aumento de la producción. En general la programación de la automatización del sistema de riego se realiza según el criterio del cultivador, ya sea por tiempos de programación, por volúmenes, por sensores del estado hídrico del suelo y/o por datos meteorológicos (Sistemas de riego, 2016).

4.2.3.6. Invernaderos para semilleros

Los semilleros son sitios en donde se realiza la siembra de cultivos hortícolas, se caracteriza por ser un área de terreno preparado y acondicionado para el sembrado de las semillas con finalidad productiva. Un invernadero para semilleros se conforma por las siguientes zonas. (Sistemas de riego, 2016)

- Zona de siembra: Ubicada en un almacén, se realiza la operación de sembrado mediante maquinaria automatizada o a la mano.
- Cámaras de germinación: Acondicionamiento para la germinación de las semillas.
- Invernadero por producción: Disposición de plántulas para su desarrollo.
- Aclimatación: Superficie cuya finalidad es preparar las plántulas para las condiciones del campo.

4.2.4. Sensores

Existen diferentes tipos de sensores para realizar mediciones a nivel agrícola, estos con el fin de lograr un monitoreo al cultivo para mejorar la producción. Generalmente en los sistemas automatizados a nivel agrícola se implementan sensores que realicen mediciones a variables en cuanto al agua y suelo, entre los cuales se encuentran:

4.2.4.1. pH en agua

El pH del agua que se utiliza para riego tiene una gran importancia en los cultivos ya que este genera reacciones químicas variadas. Las razones por las que se debe ajustar el pH a un intervalo óptimo son para permitir la absorción óptima de nutrientes y obstrucciones en el sistema de riego. Para medir el pH en agua existen diferentes sensores digitales y analógicos que cubre necesidades de aplicaciones generales, contaminantes, de alta

temperatura, sucia, baja conductividad o sanitarias. (Medina, Mancilla, Larios, Gutierrez, Lopez, Barreto, 2016).

- Sensor de pH de alta pureza: El electrodo de referencia de estos sensores se puede reparar.
- Sensor de pH de propósito general y ORP: Se utilizan en la mayoría de las industrias, poseen una versatilidad óptima por su montaje.
- Sensores de pH de Alto Rendimiento: Tienen un electrodo de referencia de doble junta mejorada que sobresale en aplicaciones difíciles y se puede personalizar con electrolitos de gel especiales
- Sensores TUpH: Están diseñados específicamente para la resistencia óptima en aplicaciones difíciles.
- Steam Sterilizable pH Sensors: Sensores de vapor esterilizables proporcionar una señal estable y conservar su valor de calibración para ciclos de esterilización repetidos. Se pueden utilizar en los campos de procesamiento de la biotecnología, farmacéutica, química y de alimentos (Emerson, 2017)

4.2.4.2. Conductividad en agua

La conductividad eléctrica (CE) refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua. Por lo tanto, la conductividad eléctrica está relacionada con TDS. El TDS es el total de sólidos disueltos, principalmente de sales marinas. Ya que es difícil medir los sólidos disueltos totales en el campo, se utiliza la conductividad eléctrica del agua como una medida del TDS. La conductividad eléctrica del agua puede ser determinada en una manera rápida y económica, utilizando medidores portátiles. (Smart, 2016).

Sensores de dos electrodos sumergibles para la medida de bajos niveles de conductividad - salinidad Mediante electrodos de grafito o polímero.

- Serie SZ 33xx: Sensores para muy alta temperatura, montaje en tubería Con compensación de temperatura.
- Modelo SAN 621-3-1-5S: Sensor para aguas puras, montaje tubería, admite esterilización Con compensación de temperatura, para industria farmacéutica.

Sensores de 4 electrodos para instalar directamente a proceso, en extensiones de tuberías, para aplicaciones en inmersión o cámaras de caudal Conexión a micro

transmisor o controlador.

- Modelo SI 311: aplicación general
- Modelo SZ 312.4: para tubería o sumergible. (Emerson, 2017)

4.3. MARCO LEGAL

Dentro de los parámetros legales y ambientales para el desarrollo del proyecto, se debe tener en cuenta:

4.3.1. Ley 09 de 1979

Para la protección del Medio Ambiente, se establece por la presente ley, las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana y además los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan las condiciones sanitarias del ambiente. (Ley 09, 1979).

Título I. DE LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Título II. SUMINISTRO DE AGUA

Título III. SALUD OCUPACIONAL

Título V. ALIMENTOS

4.3.2. Decreto 3930 de 2010

“Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”. (Decreto 3930, 2010).

Capítulo II. Definiciones

Capítulo III. Del Ordenamiento del Recurso Hídrico

Capítulo IV. De la destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas y marinas

Capítulo V. De los criterios de calidad para destinación del recurso

4.3.3. Decreto 1076 de 2015

“Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible” (Decreto 1076, 2015)

ARTICULO 2.2.3.3.9.5. TRANSITORIO. Criterio de calidad para uso agrícola

Tabla 1. Criterio de calidad para uso agrícola.

Referencia	Expresado como	Valor
Aluminio	Al	5.0
Arsénico	As	0.1
Berilio	Be	0.1
Cadmio	Cd	0.01
Cinc	Zn	2.0
Cobalto	Co	0.05
Cobre	Cu	0.2
Cromo	Cr+	0.1
Flúor	F	1.0
Hierro	Fe	5.0
Litio	Li	2.5
Manganeso	Mn	0.2
Molibdeno	Mo	0.01
Níquel	Ni	0.2
pH	Unidades	4.5-9.0
Plomo	Pb	5.0
Selenio	Se	0.02
Vanadio	V	0.1

Fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Parágrafo 1o. Además de los criterios establecidos en el presente artículo, se adoptan los siguientes:

- a. El boro, expresado como B, deberá estar entre 0.3 y 4.0 mg/1 dependiendo del tipo de suelo y del cultivo.
- b. El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto.
- c. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder de 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin del literal anterior.

4.3.4. Criterio de toxicidad

Se denomina toxicidad a la propiedad que tiene una sustancia, elemento o compuesto, el cual puede causar daños a la salud o a la muerte tanto humana como de un organismo vivo. (Decreto 1594, 1984)

4.3.5. Calidad de agua para uso potable

Los criterios admisibles para destinar el recurso hídrico a nivel agrícola, están expuestos en el Anexo B. (Decreto 1594, 1984)

4.3.6. Calidad de agua para uso agrícola

Los criterios admisibles para destinar el recurso hídrico a nivel agrícola, están expuestos en el Anexo C. (Decreto 1594, 1984)

5. LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS

Para el inicio del proyecto se debe revisar el estado y funcionamiento de los equipos y materiales existentes en campus Chía, y así determinar si se deben reemplazar o reparar para su correcto funcionamiento, posterior a esto se tienen los siguientes requerimientos:

- Asegurar la adecuación del volumen de agua almacenada en los tanques para el sistema de distribución.
- Para el caso de la conductividad en agua para riego, se muestran los valores a tener en cuenta, presentados en el anexo A en la tabla número 1, en donde se encuentra y se debe mantener dicho nivel de conductividad correspondiente para cada tipo de suelo.
- Asegurar la calidad del agua para usos agrícolas, se debe basar en los parámetros establecidos por el decreto 1075 de 2015. Estos valores se encuentran en el anexo C tabla 1 (Criterios de calidad de agua para uso agrícola).
- Para el cultivo hidropónico se debe asegurar el suministro diario del 1% al 2% de la cantidad de agua total del sistema. El pH del agua debe encontrarse entre 5.8 - 7 y la conductividad entre 1- 50 $\mu\text{ohm/cm}$.
- Sistema de suministro permanente del recurso hídrico disponible en los reservorios de aguas lluvias con un sistema de soporte de la línea de acueducto para el Laboratorio de Experimentación Agro Técnica y de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería.
- Suministro de agua para los tres espacios del Laboratorio de Experimentación Agro Técnica y Energías Renovables (Germinación, Cultivos hidropónicos, Cultivos en suelo).
- Sistema alimentado con la energía disponible en el Laboratorio de Experimentación Agro Técnica y Energías Renovables de 24 V.
- Sistema implementado ubicado en el Laboratorio de Experimentación Agro Técnica y de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería en el campus Chía de la

Universidad El Bosque. Cultivos tradicionales (en suelo) Germinación y Cultivos Hidropónicos.

- Estimar los requerimientos del flujo de agua y las variables de medición en el recurso hídrico y suelos para los diferentes cultivos del LEATYER estableciendo los cálculos correspondientes.
- Aprovechamiento adecuado del espacio. El sistema de distribución del recurso hídrico busca garantizar un uso razonable y eficiente del espacio.
- Fácil montaje y ensamblaje (sistema de distribución de aguas lluvias) Es preciso que el tipo de tecnología de distribución seleccionada se ajuste a las necesidades y a la situación práctica de los cultivos. Asimismo, durante la selección, se deben tener en cuenta todos los requerimientos de funcionamiento y mantenimiento, con el fin de garantizar que esa tecnología coincida con la capacidad operacional y las condiciones físicas del proyecto.
- Reducción de Costos. Utilización acertada de materiales y procesos para garantizar la mejor rentabilidad del presupuesto. Sistema de riego cultivo tradicional.
- Utilización de materiales de construcción fácilmente maleables y de calidad. Al buscar la adaptabilidad del sistema de distribución a los diferentes cultivos es imperante la utilización de materiales que ofrezcan estas características. Por tanto, se requiere de la asesoría profesional y experiencias del ente docente.
- Continúa asesoría evaluación y retroalimentación de asesores de tesis. Este requerimiento hace énfasis en la colaboración del grupo de docentes y compañeros para el desarrollo del proyecto.

6. METODOLOGÍA

El Laboratorio de Experimentación de Agro Técnica y Energías Renovables (LEATYER) se compone de 3 fases principales, expuestas a continuación:

Figura 6. Zonas del proyecto LEATYER



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas 2018).

- Zona 1: Distribución hídrica Reservoirio-Tanques de Almacenamiento.
- Zona 2: Distribución Tanques de Almacenamiento - Domos - Cultivo en suelo.
- Zona 3: Cultivo en suelo.

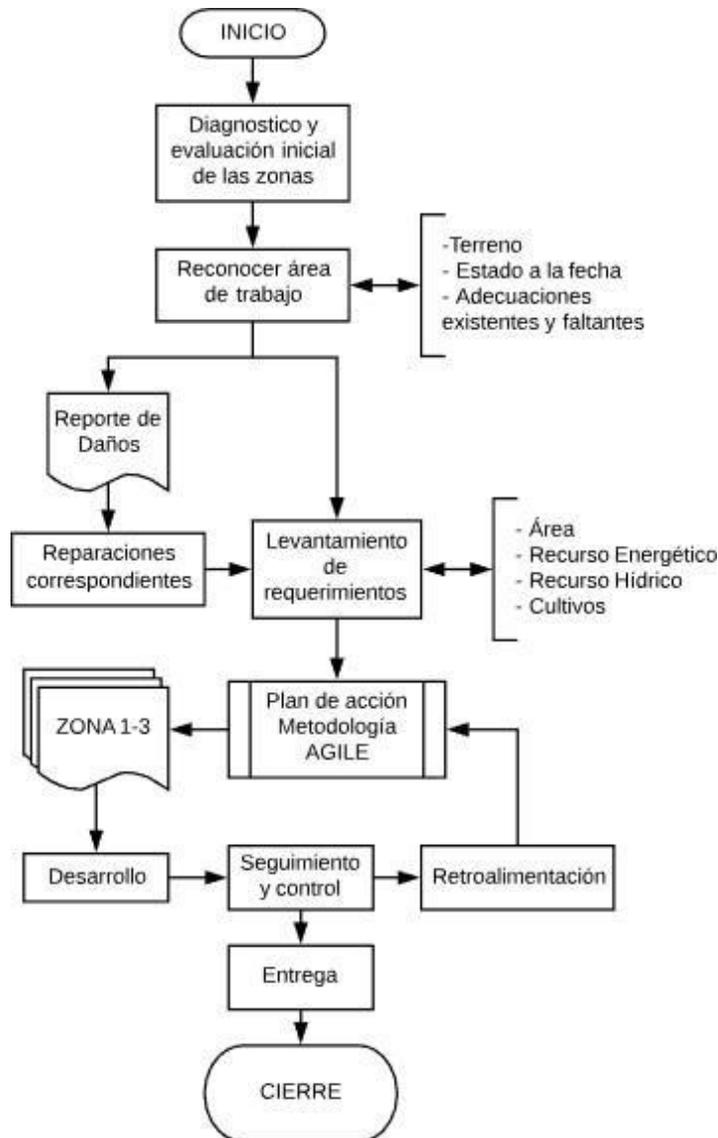
Cada Zona a lo largo de LEATYER requiere de una adecuación correspondiente, lo que implicó el uso de diferentes tecnologías, tareas y herramientas, independientemente de que estas zonas estén directamente relacionadas. Por ello se buscó una metodología para el desarrollo del proyecto que precisara rapidez y flexibilidad, teniendo en cuenta esta forma distinta de trabajo y organización se expone y utiliza la metodología AGILE, esta es ideal para proyectos que exhiben una alta variabilidad en sus tareas debido a los cambios en los requisitos, en las capacidades de las personas y en la tecnología utilizada (Communications of the ACM, 2005). Los principios y valores que son la base de las metodologías AGILE, tienen como objetivo realizar entregas rápidas y continuas del proyecto funcionando correctamente, este se divide en diferentes partes que tienen que completarse y entregarse en plazos cortos. De esta manera, si hay que realizar cualquier modificación, solo se hacen cambios en la parte implicada y en poco tiempo (Tena M, 2018).

A continuación, se describen las metodologías correspondientes al proyecto general y a cada zona:

6.1. PROYECTO GENERAL: LEATYER.

La figura que se observa a continuación, figura 7, da a conocer la metodología a seguir del proyecto en general, teniendo como inicio el diagnóstico y la evaluación inicial del proyecto LEATYER para así evidenciar el estado en que se encuentran las diferentes zonas en cuanto al terreno, estado de los diferentes componentes ya instalados previamente y las adecuaciones. Posterior a esto dar un reporte de daños en dichas zonas y realizar las reparaciones correspondientes para así poder brindar un correcto sistema de suministro hídrico con el desarrollo del proyecto propuesto, teniendo en cuenta los requerimientos brindados por los docentes a cargo del laboratorio.

Figura 7. Metodología proyecto general, LEATYER.

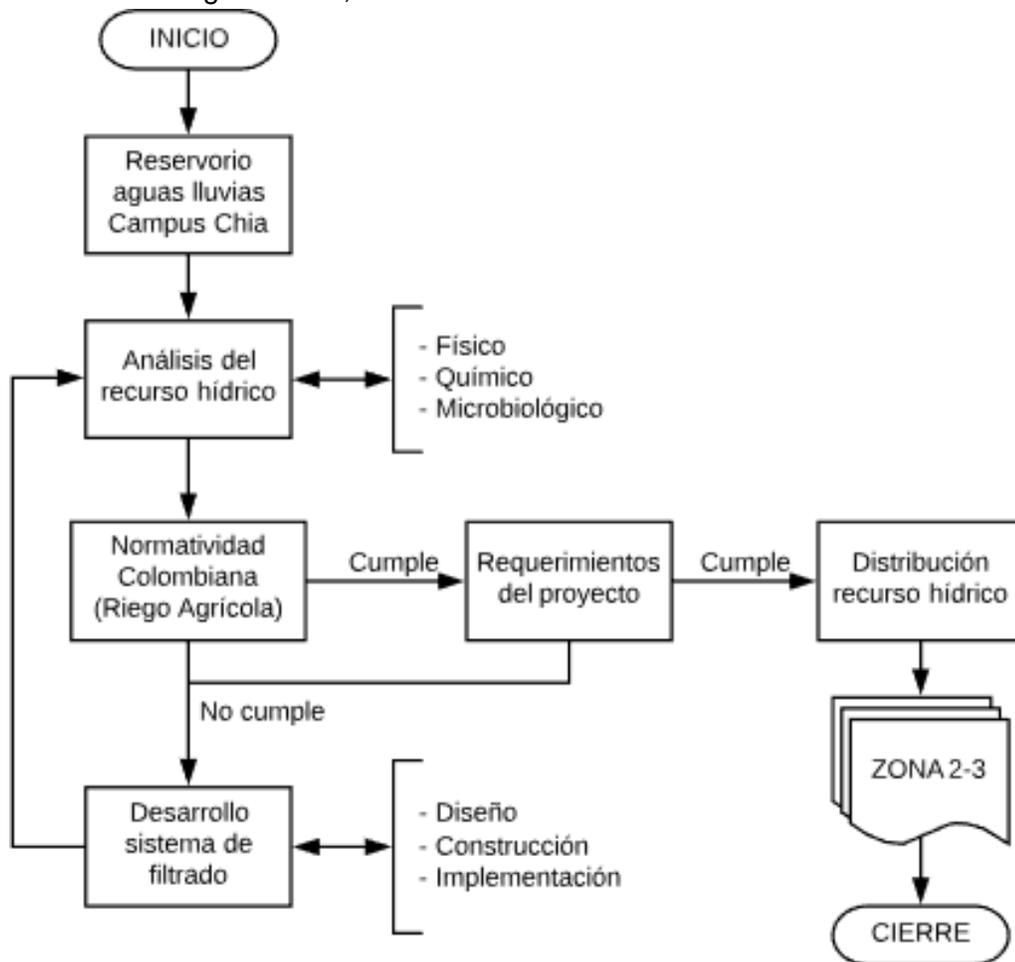


Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas 2018).

6.2. ZONA 1: DISTRIBUCIÓN HÍDRICA RESERVORIO- TANQUES DE ALMACENAMIENTO

La figura que se observa a continuación, figura 8, da a conocer la metodología que se siguió para la intervención de la zona 1, la cual corresponde a la distribución del recurso hídrico desde el reservorio de aguas lluvias hasta los tanques de almacenamiento, esta etapa inicial fue crucial en el proyecto ya que el reservorio de aguas lluvias es quien brinda el recurso hídrico por ende su composición físico-química y microbiológica debe estar según los lineamientos de la normatividad colombiana en el decreto 1076 de 2015 expuesta anteriormente en el marco legal en cuanto al riego agrícola, ya que esto es lo que expone los requerimientos del proyecto, se realizó un análisis de laboratorio para determinar el estado actual de reservorio y según los resultados se realizaron las acciones pertinentes para llevarlos a lo que dicta la normatividad y así seguir con el desarrollo del sistema de distribución.

Figura 8. Metodología Zona 1, LEATYER.

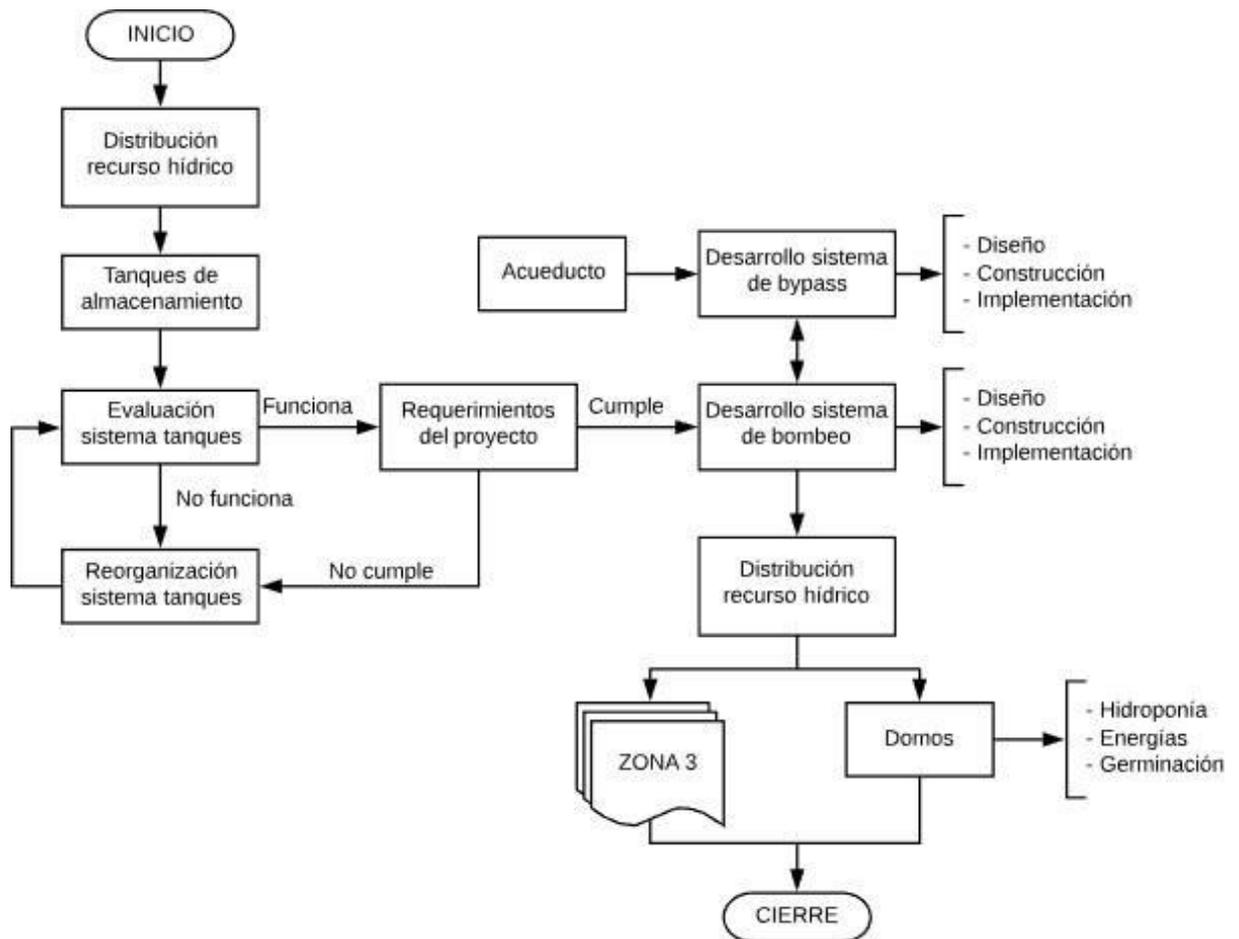


Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas 2018).

6.3. ZONA 2: DISTRIBUCIÓN TANQUE DE ALMACENAMIENTO - DOMOS - CULTIVO EN SUELO

La figura que se observa a continuación, figura 9, da a conocer la metodología que se siguió para realizar la distribución del recurso hídrico desde los tanques de almacenamientos hacia los 3 domos (hidropónico, energías y germinación) y hacia el cultivo en suelo, teniendo en cuenta los requerimientos del proyecto previamente mencionados y los requerimientos dados por los docentes teniendo en cuenta las actividades a realizar en dichas zonas, ya que en ellas se desarrollan diferentes proyectos del programa de Bioingeniería y algunos de ellos se desarrollan paralelamente al proyecto expuesto en este documento, por lo cual, y como lo permite la metodología AGILE, durante el transcurso del proyecto existieron cambios según nuevos requerimientos solicitados por los docentes a cargo de los proyectos.

Figura 9. Metodología Zona 2, LEATYER.

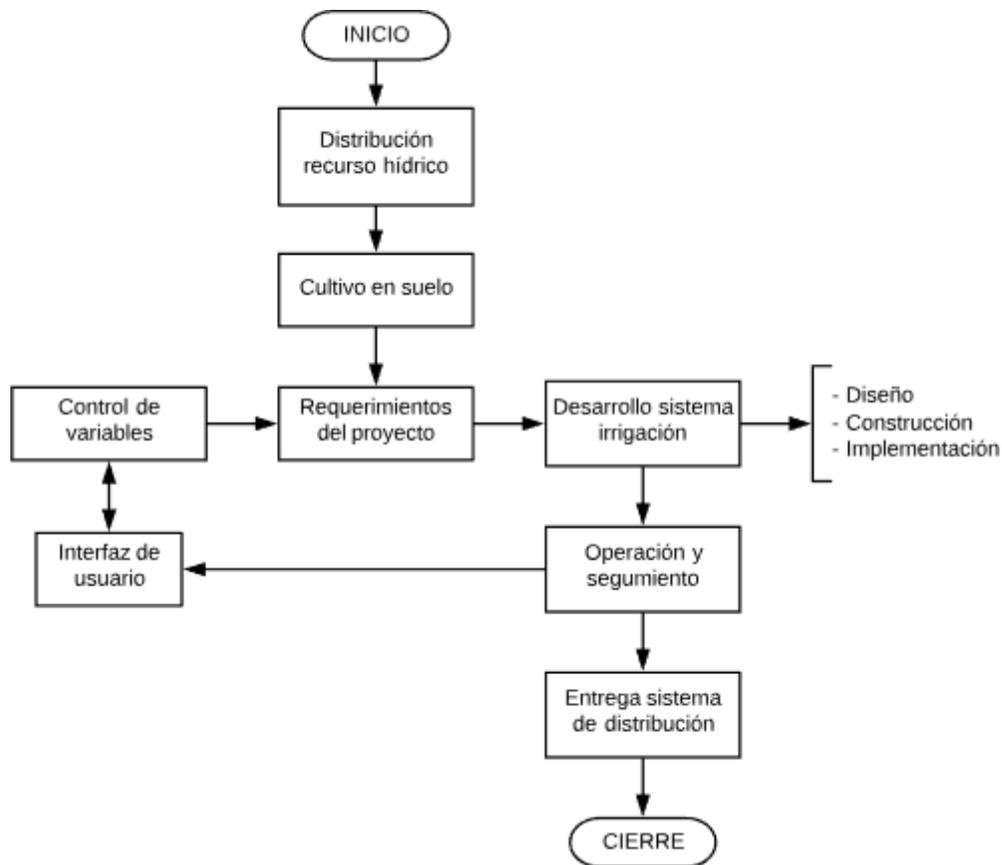


Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas 2018).

6.4. ZONA 3: CULTIVO EN SUELO

La figura que se observa a continuación, figura 10, da a conocer la metodología llevada a cabo para la distribución del recurso hídrico en el cultivo en suelo, teniendo en cuenta los requerimientos, se propuso un sistema de irrigación que cumpla con su función principal de mantener el cultivo correctamente irrigado, dándole al usuario el poder monitorear y controlar el accionar de dicho sistema en cuanto a la variables mencionadas anteriormente, esta zona es la etapa final del proyecto LEATYER, teniendo en cuenta que hasta este punto debe llegar el recurso hídrico con la normatividad vigente del riego agrícola, por tal motivo, como se mencionó anteriormente, aunque el proyecto se divida en fases, de igual forma dichas fases tienen una relación directa en donde sí se presentan retrasos o inconvenientes en una zona, esta podría afectar otras de las mismas.

Figura 10. Metodología Zona 3, LEATYER.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Al dar cierre a la zona 3, se dio inicio a la entrega del proyecto en general, dando cumplimiento al 100% de los objetivos propuestos anteriormente.

7. DESARROLLO

7.1. ETAPA DE DISEÑO

7.1.1. Diagnóstico y evaluación inicial

Para la realización del diagnóstico y evaluación inicial del proyecto LEATYER se llevó a cabo el recorrido por de cada zona expuesta anteriormente, detallando los diferentes componentes, estructuras y dispositivos ya instalados.

7.1.1.1. Caracterización del área de trabajo

Inicialmente se realiza la caracterización del área de trabajo, teniendo en cuenta el laboratorio en su totalidad, tanto los 3 domos que se definieron como domo de germinación, domo de energías y domo de hidroponía, cabe aclarar que en el domo de germinación se realizan más procesos aparte de la germinación además del almacenamiento de las herramientas para diferentes labores en los cultivos, por otro lado, en el domo de energías se almacenan diferentes herramientas de trabajo junto con las cajas de distribución, baterías y sistemas de monitoreo de la energía proveniente de los paneles solares y la turbina eólica, y por último el domo de hidroponía, proyecto realizado por estudiantes del programa de bioingeniería, estos 3 domos cuentan con conexión a la red eléctrica y de acueducto propia del campus chía de la universidad del Bosque excluyendo al domo de energías que cuenta con conexiones extras a las energías renovables.

Por otro lado, perteneciente al LEATYER, se encuentra el cultivo en suelo, este actualmente tiene una extensión de 203 m² de los 400 m² autorizados para utilizar, este uso aproximado del 50% se debe al difícil terreno que se presenta en el área, ya que algunas de estas zonas se rellenaron con material de construcción. En otra zona, se encuentra el reservorio de aguas lluvias el cual aprovecha el agua que se precipita en la zona aledaña al mismo y a la cancha de futbol, y por medio de diferentes ductos subterráneos, redirige el agua a dicho reservorio, este ya cuenta con un sistema de bombeo el cual distribuye el agua hasta la zona de los tanques de almacenamiento. El LEATYER refiere a la siguiente zona del Campus Chía, figura 11:

Figura 11. Zona proyecto LEATYER por intervenir.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

A continuación, se exponen los diagnósticos y evaluaciones iniciales a las diferentes áreas específicas pertenecientes a LEATYER:

- Reservoirio aguas lluvias:

Se realizó un diagnóstico del reservorio de aguas lluvias ubicado en Campus Chía, observado en la figura 12, observando la distribución actual que tiene el sistema de suministro hacia los tanques de almacenamiento. Al realizar el diagnóstico se determinó que este cuenta con 4 ductos los cuales se encargan de recolectar el agua lluvia que se precipita en la zona aledaña y además se evidencio que este presenta gran cantidad de sedimentos dados por las hojas y ramas de los árboles aledaños de igual manera el sistema de recolección de aguas lluvias se observaba despejado, sin obstrucciones, por lo cual no se intervinieron.

Figura 12. Reservoirio aguas lluvia.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

El sistema encargado de realizar el bombeo, figura 13, se encuentra a uno de los costados del reservorio de aguas lluvias y se encontraba en buenas condiciones, el agua que es bombeada, se extrae del centro del reservorio, ya que en las orillas suele acumularse sedimento. El sistema que le suministra energía se encontraba en buenas condiciones, este recurso viene dado por un panel solar dispuesto para este sistema, se encontraron fallas en cuanto al sensor de nivel de agua ya que al precipitarse hasta el suelo, se veía obstruido por el fondo del reservorio inactivando el sistema de bombeo.

Figura 13. Sistema de bombeo del lago artificial.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

La distribución del recurso hídrico desde el reservorio de aguas lluvias hasta la zona dispuesta para los tanques de almacenamiento, se realiza por medio de una manguera de media pulgada la cual se encuentra soportado cada cierta distancia por un tubo de PVC por todo el recorrido como se observa en la figura 14, se presentaban inconvenientes dado que los encargados del corte de césped en el área del Campus Chía realizaban cortes accidentales en la manguera lo que interrumpía el bombeo de agua, causando sobre esfuerzos en la bomba del reservorio lo cual podría provocar que la vida útil disminuya.

Figura 14. Manguera del reservorio a los tanques.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Al realizar un análisis detallado del recorrido de la manguera, aproximadamente 150 metros, se encontraron dos cortes, en la figura 15 se observa un corte profundo y largo, a 4 metros del punto de partida del bombeo, lo que ocasiona que toda la presión producida por la bomba se pierda en esa zona causando encharcamiento, de igual manera se encontró otro corte en la manguera, a unos 100 metros del punto de partida del bombeo, de menor tamaño pero igualmente provoca que la presión no fuese suficiente para que el agua realice todo su recorrido hasta los tanques de almacenamiento.

Figura 15. Cortes en la manguera de distribución. (A Corte 1, B Corte 2)



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

- Tanques de almacenamiento

Como se observa en la figura 16, los tanques de almacenamiento ubicados en el LEATYER se encontraban en buenas condiciones, no presentaban daños estructurales, estos se encontraban ubicados en bases dispuestas para sostener el peso de estos cuando se encuentren a su máxima capacidad ya que el terreno allí presenta irregularidades. Se disponen de dos tanques de 1000 Litros cada uno, junto un sistema de filtrado el cual aún no estaba conectado al sistema general.

Figura 16. Tanques de almacenamiento y sistema de filtrado.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas 2018).

El área destinada para el filtrado, observado en la figura 17, construida con anterioridad por un proyecto originado desde facultad, dispone de 3 etapas, la primera, por donde ingresa

el agua, es la etapa de sedimentación, allí se realiza un filtro de pequeños componentes que puedan ingresar al sistema, de igual forma se da un efecto de sedimentación. Luego de esto se encuentra implementado el segundo filtro, en donde se emplea arena para filtrar el agua entrante y por último, se emplea carbón activo, para finalmente dar la salida de agua ya filtrada. Este sistema no se encuentra en uso, pero se dispone para su posible implementación en el proyecto.

Figura 17. Filtros arena, sedimentación, carbón activado.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas 2018).

- Domos: Cultivo de germinación e hidropónico y cultivo en suelo

Posterior a esto se encuentran los 3 domos y el área de cultivo en suelos, los domos se dividen en: domo de cultivo germinación, domo cultivo hidropónico y domo de energías, en la figura 18 se observa el domo de germinación, este se encuentra en mal estado ya que se su estructura está compuesta principalmente por madera y papel, por lo que se ven grandes aberturas en los costados del domo, de igual forma este domo también comparte su uso para el compostaje y el almacenamiento de herramientas. Luego se observa el cultivo en suelo el cual se encuentra en abandono parcial ya que no se ha tenido un cuidado en él, eliminando malezas, riego, entre otros factores, y por último se observa el domo de cultivo hidropónico, proyecto de facultad realizado con anterioridad y presentado como proyecto de grado.

Figura 18. Domo de germinación, Cultivo en Suelo, Domo de hidroponía.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

7.1.1.2. Caracterizaciones variables mecánicas del sistema de bombeo reservorio

Se evalúa la presión del agua en diferentes puntos de su trayecto con un manómetro analógico, como se observa en la figura 19, esto con el fin de determinar si la presión se encontraba constante en el recorrido de distribución hacia los tanques de almacenamiento, descartando posibles fugas en el camino. La presión del agua que se encontró en la salida de la bomba del reservorio, primer punto de evaluación, arroja un resultado de más de 60 psi (alrededor de 4,1 bar), lo mismo para el segundo punto de evaluación que se realizó en la salida de la manguera hacia los tanques de almacenamiento; más de 60 psi. Con estos resultados se concluyó que al menos desde el punto de inicio hasta los tanques de almacenamiento no se presentaban fugas de presión.

Figura 19. Presión de agua en la salida de la manguera que conecta al tanque.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

De igual forma se realizó la medición de la presión en acueducto, teniendo en cuenta las salidas de agua en los domos, dando como resultado los valores observados en la tabla 2.

Tabla 2. Presiones en salida de acueducto, domos.

Punto medido	Presión
Salida domo germinación	18 Psi
Salida domo hidropónico	18 Psi

Fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

7.1.1.3. Caracterización variables mecánicas de los tanques de almacenamiento

Habiendo realizado la evaluación de la presión suministrada por la bomba, se procedió a calcular en caudal que presentaba la salida inferior de agua en los tanques de almacenamiento, midiendo desde diferentes puntos (1.55mt, 77cm y 25cm). Interpretando

esto por medio de las ecuaciones de Bernoulli, se logró determinar el caudal en cada punto junto con un temporizador y un recipiente medidor como se observa en la figura 20, dando como resultado los expuestos en la tabla 3.

Figura 20. Prueba caudal saliente del tanque de almacenamiento.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Tabla 3. Caudal en tanque de almacenamiento.

Nivel del agua en el tanque (cm)	Caudal de salida tanque de almacenamiento (L/s)
155	0.314
77	0.257
25	0.160

Fuente: (Gutierrez, Vargas 2018)

En la anterior tabla se puede observar la disminución del caudal es directamente proporcional a la disminución del nivel del agua en los tanques. Con esto se descarta la posibilidad de emplear la fuerza de la gravedad para crear presión al momento de emplear los micros aspersores en el cultivo de germinación, ya que la presión no es suficiente para el funcionamiento de los mismos.

7.1.2. Diseño global del sistema

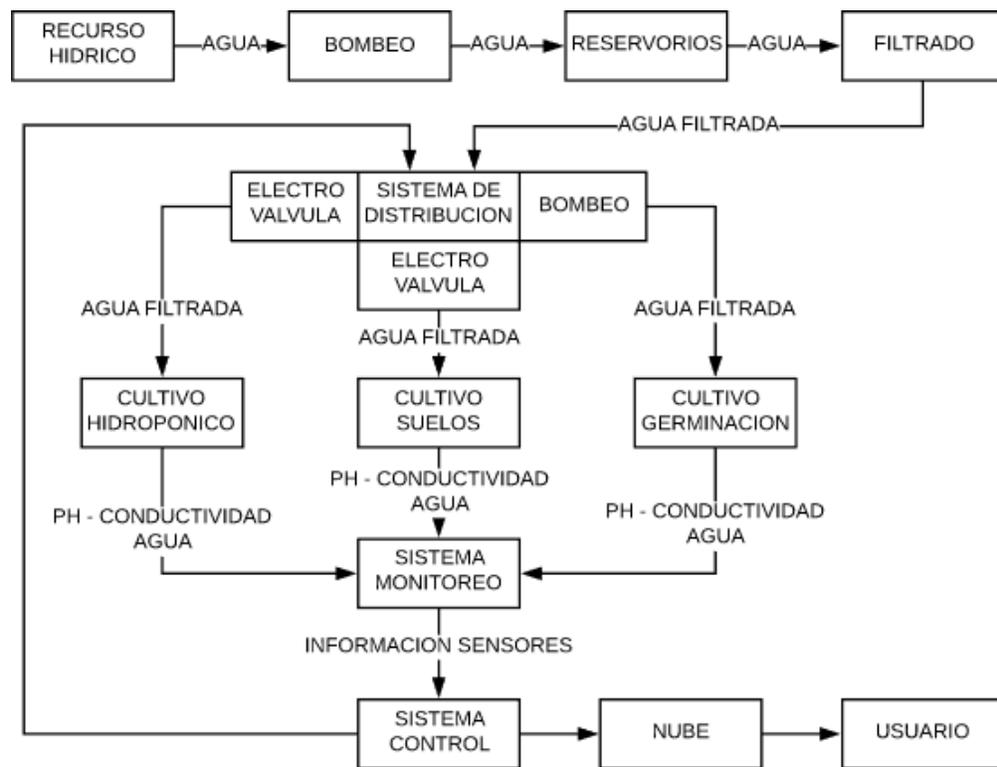
Finalmente, luego de realizar la etapa de diagnóstico y evaluación inicial, se plantearon diferentes diagramas de flujo dando a conocer el recorrido del agua por los diferentes puntos del LEATYER de igual forma se estableció un sistema de bypass de conexión a la línea de acueducto del Campus Chía para que el Laboratorio, esto con el fin de que si el reservorio presenta baja capacidad, el Laboratorio no se quede sin el recurso hídrico. El

agua proveniente del acueducto, inicialmente llega a una casa ubicada al lado del domo de germinación, y luego se distribuye desde las tuberías de la casa a las salidas de agua de los tres domos, por medio de válvulas que me permiten restringir el paso del agua manualmente. A continuación, se exponen los diferentes diagramas que exponen la metodología a implementar evaluando las diferentes pruebas anteriores, las ventajas y desventajas de cada uno de ellos para así seleccionar la mejor opción.

Opción A.

Como opción A, se contempla el uso de una etapa de filtrado antes de ingresar al sistema de distribución del LEATYER, posterior a esto se da el ingreso a los diferentes sistemas de cada cultivo sin una etapa de almacenamiento.

Figura 21. Diagrama de bloques ingeniería básica del proyecto.



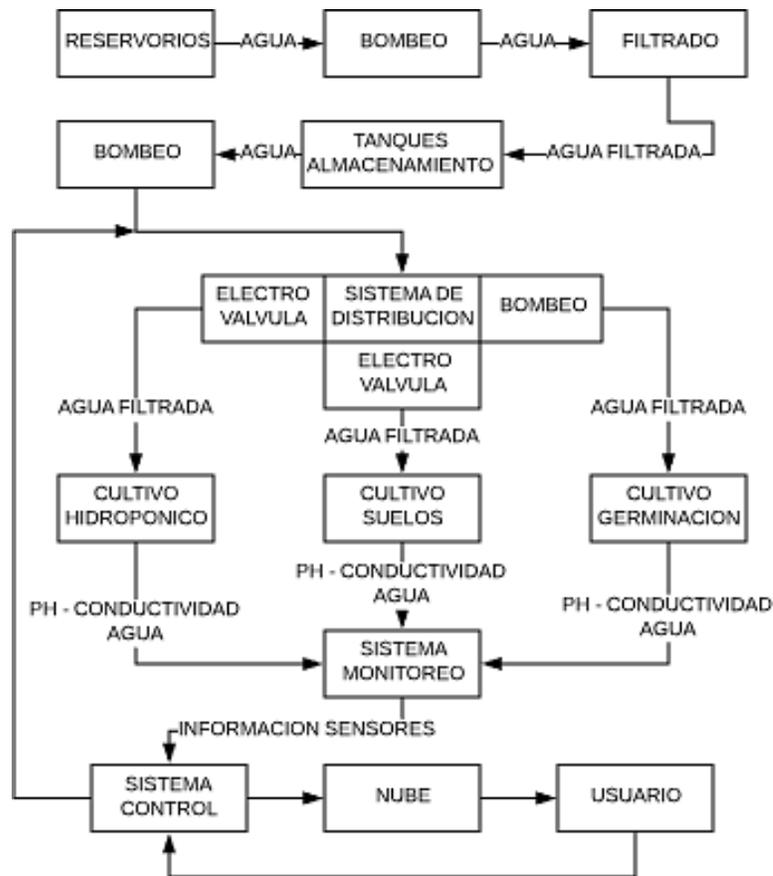
Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas 2018).

Opción B.

Como opción B se observa la entrada de agua directamente al sistema de filtros aprovechando la presión del primer bombeo para el filtrado, para luego ingresar al tanque de almacenamiento el cual contendrá el sistema de bypass con el acueducto, posterior a

esto se da ingreso al sistema de distribución hacia cada cultivo, cabe aclarar que la salida del recurso hídrico después de almacenarla en los tanques no presenta presión por lo que se debe implementar bombas de agua para alcanzar al sistema de control y la presión necesaria.

Figura 22. Diagrama de bloques ingeniería básica del proyecto.

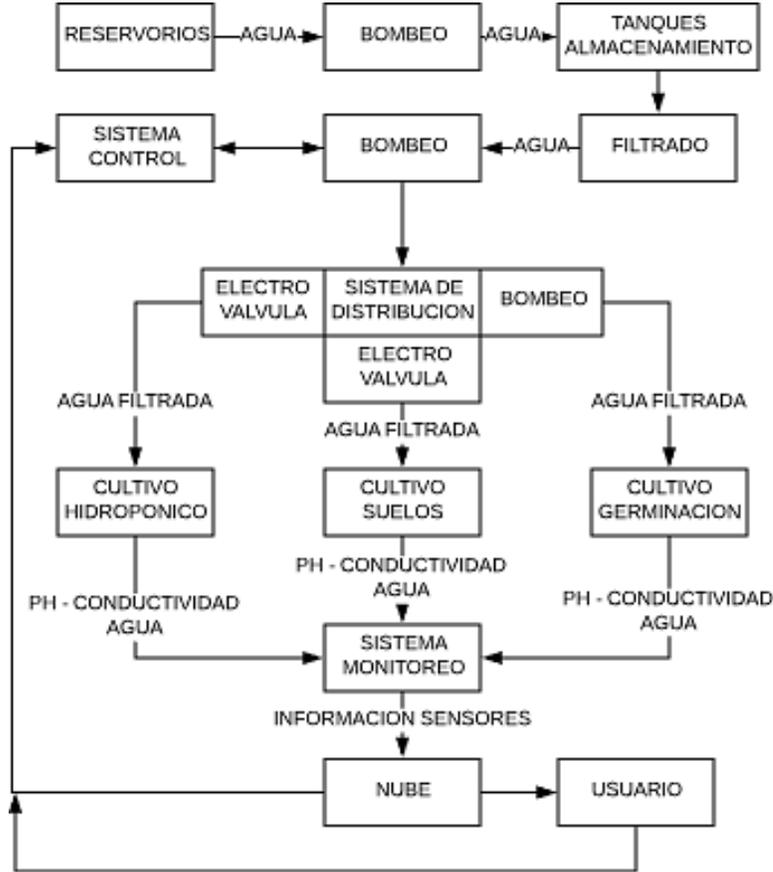


Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Opción C.

Como opción C se tiene el almacenar inicialmente el agua en los tanques disponibles para ello, y luego, por gravedad, realizar la etapa de filtrado, para luego ingresar al sistema de control que me asegurara la presión correspondiente para el ingreso al acueducto, cabe aclarar que esta opción presenta problemas por la presión saliente del sistema de filtros.

Figura 23. Diagrama de bloques ingeniería básica del proyecto.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Finalmente, luego de la evaluación de cada opción, se seleccionó seguir la metodología planteada en la opción B, ya que en ella se puede implementar el sistema de bypass, se puede realizar un monitoreo continuo a al recurso hídrico, cuenta con tanques de almacenamiento para adquirir agua del reservorio sin necesidad de ir hasta esa zona, en general muestra más ventajas con respecto a las otras opciones.

7.1.3. Diseño detallado

7.1.3.1. Evaluación implementación sistema de adecuación recurso hídrico

Correspondientemente a los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio físico químico y microbiológico, se planteó un filtro en la zona del reservorio de aguas lluvias el cual evite el ingreso de grandes partículas al sistema de distribución, ya que el reservorio presentaba grandes cantidades de sedimento y sólidos flotantes, pertenecientes a árboles, pasto, entre otras. Por otra parte, y aunque se evidencio que el agua no requiere de ningún tratamiento previo, se sugirió la implementación de un segundo filtro en la zona de los tanques de

almacenamiento, el cual realice un filtrado de pequeñas partículas que logran llegar a ese punto, dejando así, un agua en mejores condiciones para llevar a cabo el riego agrícola.

7.1.3.2. Evaluación sistema organizacional tanques de almacenamiento

En el sitio se encontraban dos tanques de almacenamiento de 1000 L cada uno, uno de ellos no estaba en uso en el momento, por lo cual, y para utilizar los implementos disponibles en el LEATYER, se evaluó la necesidad de emplear el segundo tanque para así tener 2000 L de capacidad en el sistema, por lo tanto el primer tanque de almacenamiento, el cual si se encontraba en funcionamiento, se sitúa en terreno alto y teniendo en cuenta el principio de Bernoulli se implementa el segundo tanque en un terreno más bajo para que así y por medio del principio se realizará la distribución del recurso hídrico entre ambos tanques, para ello se necesitaba que uno de los tanques tuviera una diferencia de nivel igual a la altura del mismo para que esto ocurriese, de tal modo el LEATYER contaría con 2000 L de almacenamiento de agua para los diferentes procesos y actividades que se desarrollen.

7.1.3.3. Evaluación sistema bypass acueducto-tanques de almacenamiento

El desarrollo del sistema de Bypass consta en permitirle al usuario la elección de un suministro 100% acueducto o 75% reservorio aguas lluvias y un 15% acueducto, ya que al momento en que se desee realizar mantenimiento al reservorio u ocurra una sequía, el sistema pueda seguir operando con el suministro del acueducto. Para ello, se planteó realizar cambios en cuanto a las conexiones de las tuberías de acueducto que se encuentran en la caja de inspección del LEATYER.

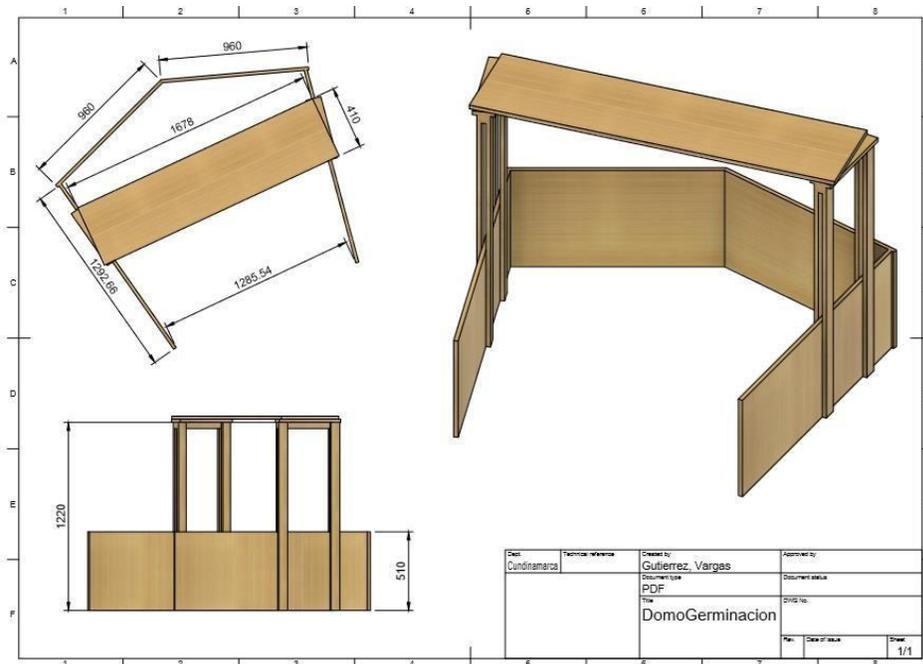
7.1.3.4. Evaluación sistema de irrigación en domo de germinación

Para el domo de germinación, se planteó un sistema de riego por micro aspersion que cumpla con las especificaciones del diseño, puesto que se va a separar el domo en niveles superior e inferior, para no interrumpir el ciclo de compostaje. Se va a utilizar este tipo de riego por el espacio reducido que se ha de trabajar en el domo de germinación, su versatilidad y su uniformidad en el goteo. (Sistemas de riego, 2016).

El proyecto presentado en este documento, refiere a la distribución del recurso hídrico

dentro del LEATYER, por ello, surgió un proyecto en paralelo el cual realizó la irrigación del cultivo en germinación, en donde se le suministro el recurso hídrico necesario para realizar dicha labor, en la figura 24 se observa el diseño de las estructuras presentes dentro del cultivo de germinación para realizar dicha actividad. El proyecto en paralelo fue dirigido por el docente Fredy Rolando García Bello.

Figura 24, Diseño estructura germinación



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

El proyecto paralelo utilizó micro aspersores de bajo caudal, con boquilla bailarina que permite cubrir diferentes necesidades dentro de la instalación del domo, se evalúa la implementación de dichos micro aspersores ya que en el domo de germinación se realizan diferentes procesos, como se había mencionado anteriormente, aun así estos micro aspersores presentan ventajas de control de caudal y pérdida de agua.

7.1.3.5. Evaluación sistema de irrigación cultivo en suelo

De acuerdo a la distribución para los 400m² del cultivo en suelo establecidos por el programa de bioingeniería, se disponen de 16 camas de cultivo en conjunto con un área de cultivos verticales y cultivos acuaponicos. El sistema de riego que se plantea para el cultivo tradicional o de suelo es el riego por goteo y micro aspersión por requerimientos de los docentes a cargo, teniendo en cuenta que el LEATYER se desarrolla para incentivar la

investigación y el desarrollo en los diferentes focos misionales de la carrera de bioingeniería.

Figura 25, Zona cultivo en suelo.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Se plantea disponer de una electroválvula para cada cama, es decir un total de 16 electroválvulas, las cuales serán suministradas con el agua proveniente del sistema de bombeo del tanque dos, de esta forma se cumplen los requerimientos de presión y distribución de recurso hídrico para el sistema de irrigación mencionado, las electroválvulas que cumplirán dicha función son las “HFS válvula solenoide 110V” junto con el microcontrolador ESP 32, el cual controlara el interruptor ON/OFF de cada electroválvula según las variables de cada cama, es decir, se activan automáticamente si la humedad en el suelo de cada cama es menor al requerido y si el usuario lo requiere.

Las ventajas observadas en el ESP32 es principalmente su conexión a la red WIFI, ya que así el usuario podrá observar constantemente el funcionamiento del sistema general y a su vez controlarlo si es requerido, el ESP32 controlará automáticamente el riego según las variables leídas en cada cama del cultivo. Cada cama estará compuesta por el sistema de distribución de goteo correspondiente y a su vez del sistema de monitoreo, este se realizará

por medio del sensor de humedad en suelo de arduino junto con el microcontrolador correspondiente a cada cama el cual es el encargado de enviar el dato de humedad al microcontrolador principal ESP32 y así controlar el riego por goteo en cada cama.

7.1.3.6. Evaluación sistema de monitoreo pH y conductividad en agua

Este sistema se realizará con la misma base metodológica que el numeral anterior, la sonda de pH Extech Instruments y la sonda EC Extech Instruments, cada uno conectado al módulo de pH V1.1 y al módulo Atlas Scientific Conductivity respectivamente, estos dos sensores realizarán el envío de información al ESP32 correspondiente para así finalmente llevar la información al usuario, para que el mismo se encargue de monitorear y actuar si así es requerido. Se planteó que el sistema a implementar se encontrara dentro de uno de los tanques de almacenamiento, para que así, se realizará el monitoreo en el punto donde el agua sería distribuida a las diferentes zonas del LEATYER.

7.1.3.7. Evaluación interfaz con el usuario

Se planteó la creación de una interfaz de usuario por medio de un servidor, este tipo de aplicación permite la creación de una aplicación móvil gratuita, en donde se puede realizar la comunicación por medio de WIFI y tomar acciones en el sistema planteado del cultivo en suelo desde cualquier punto del mundo con acceso a internet, sin embargo, se evalúan diferentes aplicaciones y servidores que también desarrollan una app o servidor web para interactuar con el sistema implementado vía WIFI, entre ellas se encuentran los servidores web gratuitos, IoT's, Blynk, entre otras. El desarrollador a emplear se evaluó teniendo en cuenta las desventajas y ventajas que estos ofrecían según los requerimientos del proyecto, este fue el servidor BLYNK el cual aporta una app móvil versátil y de fácil de manejo.

7.2. ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN

7.2.1. Reparaciones

Debido a los cortes presentes en la manguera por la poda del césped, se adecuó la manguera al terreno realizando el entierro de la misma entre 15-20 centímetros de profundidad, de esta forma se evitan futuros cortes que se presenten por la poda. De igual forma, como se evidencia en la figura 26, se observa el antes y después del proceso de adecuar la manguera, por medio de una pica se procedió a abrir la tierra para posteriormente disponer la manguera bajo el suelo y luego se agregó una capa de tierra para ajustar y apretar de nuevo el terreno.

Figura 26. Manguera bajo suelo.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

En las zonas donde se presentaron cortes, se implementó una unión universal, observada en la figura 27, para así permitir el flujo constante del agua.

Figura 27. Unión universal.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

En la figura 28 se observa las adecuaciones realizadas a la manguera, evitando que esta se encuentre en la superficie evitando accidentes futuros que interrumpan el flujo del agua.

Figura 28. Antes y después del enterrado de la manguera.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Al realizar los arreglos pertinentes en las uniones, usando la unión universal, se logró obtener un flujo constante y correcto hacia los tanques de almacenamiento ubicados en el LEATYER, cabe resaltar que se enterró aproximadamente 150 m de manguera. En la figura 29 se observan las diferentes reparaciones realizadas, se observa allí que ya no existen fugas de agua evitando que la presión no sea suficiente para el envío de este recurso hasta los tanques de almacenamiento.

Figura 29. Reparación y adecuación de manguera con cortes.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

7.2.2. Mantenimiento del reservorio aguas lluvias

Para la primera instancia de adecuación del reservorio, se realizó una limpieza superficial del reservorio aguas lluvia, con el fin de remover todos los sólidos de la superficie (hojas, ramas, basura) como se muestra en la figura 30, de esta forma la extracción de la manguera de la bomba resultaba más sencilla.

Figura 30. Limpieza de la superficie del reservorio de aguas lluvia.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Luego de extraer la boquilla del filtro que se encontraba al extremo de la manguera, en medio del reservorio, se realizó la limpieza de la manguera y la entrada de la boquilla más el flotador, como se observa en la figura 31, esto para remover todos los residuos que se encontraban adheridos a ella.

Figura 31. Limpieza manguera de la bomba del reservorio.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

7.2.3. Análisis físico-químicos y microbiológicos del recurso hídrico

Para evaluar los parámetros del agua necesarios para determinar la calidad de esta para uso agrícola, es necesario realizar pruebas físicas, químicas y microbiológicas, con el fin de tener resultados más veraces y acertados, se realizó la contratación de la empresa Hidrolab Colombia LTDA, especializada en estas pruebas de laboratorio, para realizar el

análisis del agua, se realizó la toma de la muestra de agua, como se observa en la figura 32, de los tanques de almacenamiento. El informe completo entregado por Hidrolab Colombia LTDA se encuentra en el anexo A.

Figura 32. Toma de muestras realizada por Hidrolab Colombia LTDA.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Tras realizar las pruebas con la empresa Hidrolab Colombia LTDA y obtener los resultados, se determinaron las variables de pH, conductividad y temperatura del agua, además de la concentración de diferentes metales, tales como aluminio, cadmio, cobre, hierro y plomo, determinados por la normatividad para uso del recurso hídrico a nivel agrícola. Los resultados arrojados se pueden observar en la tabla 4, estos se encuentran dentro del rango adecuado para uso agrícola según normatividad.

Tabla 4. Resultados del laboratorio físicos y químicos HidroLab.

Parámetro	Unidades	Resultados	Decreto 1076 de 2015	Concepto
Aluminio	mg/L Al	3.75	5.0	Cumple
Cadmio	mg/L Cd	<0.002	0.01	Cumple
Cobre	mg/L Cu	<0.10	0.2	Cumple
Hierro	mg/L Fe	0.38	5.0	Cumple
Plomo	mg/L Pb	<0.010	5.0	Cumple

Temperatura	C°	18.6	N.A.	-
pH	-	7.1	4.5 - 9.0	Cumple
Conductividad	S/m	130	N.A.	-

Fuente: (HidroLab, 2018)

Como se observa en la figura 33, se tienen las lecturas realizadas con el equipo multiparámetro brindado por la empresa Hidrolab. Estos datos indican que el agua, según la normatividad, del reservorio de agua de campus Chía, es apta para el uso agrícola.

Figura 33. Prueba de pH, temperatura y Conductividad en agua realizada con multiparametro.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Para las pruebas microbiológicas, se evalúan las coliformes fecales y totales, los resultados dados por la empresa Hidrolab Colombia se muestran en la siguiente tabla, con estos resultados se puede concluir que no es necesaria la implementación de filtros para coliformes.

Tabla 5. Resultados del laboratorio microbiológico HidroLab.

Parámetro	Unidades	Resultados	Decreto 1076 de 2015	Concepto
Coliformes totales	NMP / 100 mL	3.5 E+3	5000	Cumple
Coliformes fecales	NMP / 100 mL	170	1000	Cumple

Fuente: (HidroLab, 2018)

7.2.4. Sistema de adecuación recurso hídrico

Para realizar el desarrollo del sistema de filtrado del recurso hídrico proveniente del reservorio de aguas lluvias, fue de gran importancia realizar los ajustes previos y la toma de medidas del área de trabajo para la elaboración de los diferentes diseños.

Figura 34. Toma de medidas de reservorio y de tanques.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Como se había planteado con anterioridad, es necesario implementar un filtro que reduzca el ingreso de sólidos flotantes y otros residuos al sistema de bombeo y distribución ya que este se puede ver afectado por taponamientos. Como se observa en la figura 35, se muestra el diseño de un filtro capaz de solucionar lo mencionado, observar Anexo B.

Figura 35, Diseño filtro reservorio Fusion 360.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

La construcción del filtro se realizó de acuerdo al diseño previo, utilizando materiales comunes que se pueden observar en las figuras 36, lo que se pretendía era cubrir el área alrededor de la boquilla del filtro con una malla de agujeros pequeños para evitar lo mayor posible el ingreso de insectos, sedimentación y los diferentes sólidos que se encontraban en la superficie del reservorio, además evitar el crecimiento de larvas o huevos de animales en el flotador o alrededor de la boquilla del filtro lo que causa contaminación en el recurso de agua obtenido finalmente. El filtro de malla implementado funcionó correctamente, sin afectar el bombeo de la misma.

Figura 36. Materiales para construcción de filtro de malla en reservorio.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Figura 37. Materiales para construcción de filtro de malla en reservorio.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Figura 38. Construcción de filtro de malla en reservorio.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas 2018).

Figura 39. Construcción de filtro de malla en reservorio.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

En las figuras 40 se puede observar el resultado final de la implementación del filtro de malla en el reservorio de aguas lluvia, se ubicó el flotador en la mitad del reservorio, sujetándolo con nylon al extremo del reservorio, de esta forma se encontraba en el lugar más profundo del reservorio. El flotador de piscina resistía el peso del agua sin hundirse, y la bomba estaba en la altura adecuada para no afectar el bombeo del agua.

Figura 41, Implementación de filtro de malla de filtro en reservorio.



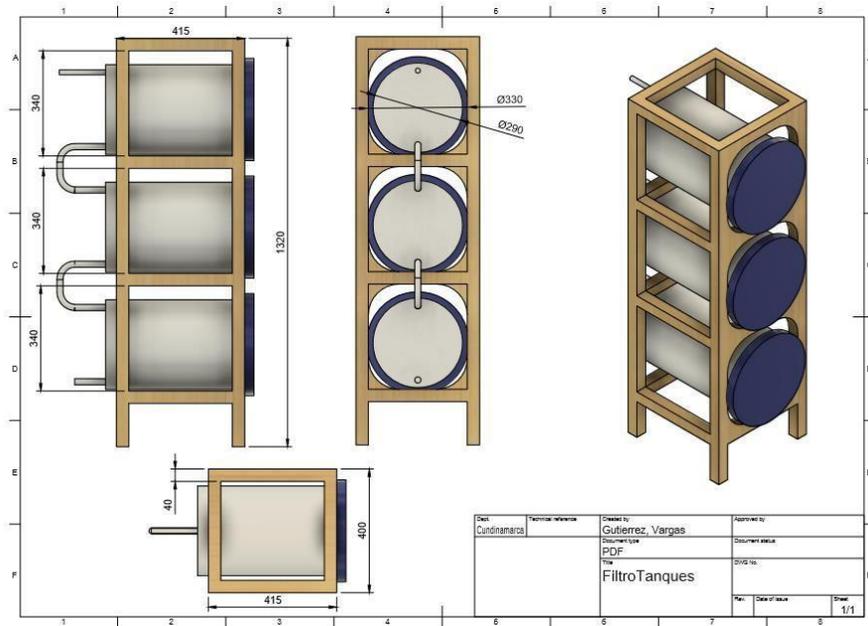
Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

El filtro de malla implementado, fue revisado tiempo después de su implementación y este seguía en las condiciones adecuadas, sin presentar ningún inconveniente en el bombeo del agua. Debido a inconvenientes que se pueden presentar en un futuro con el material flotador, antes rojo, se tuvo que cambiar a uno azul, por su conveniencia en la absorción de los rayos UV, de esta manera está más protegido del sol, lo que aumenta la vida útil del flotador.

Después de las pruebas realizadas sobre presión del agua, caudal y las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas, se planeó el diseño para el flujo del agua por los tanques de almacenamiento y filtro. Siguiendo el diseño propuesto, se ubicaron los filtros en donde se encontraba el primer tanque almacenamiento, conectándose directamente a la salida de la manguera, para que el agua del reservorio pase directamente a los filtros para ser tratada allí, luego, se conduce el agua ya filtrada al tanque de almacenamiento que distribuirá el recurso hídrico a los puntos establecidos. Se tendrán que realizar pruebas para asegurar la implementación de una segunda bomba ubicada a la salida del tanque de almacenamiento.

Se realizó una previa evaluación de los filtros que se encontraban en los tanques almacenamientos del LEATYER, estos eran 3 filtros: Sedimentación, arena y grava, carbón activado, observado en la figura 42, anexo C. Tras analizar los resultados arrojados por las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas realizadas por Hidrolab, se determinó que los filtros que ya se encontraban en Campus Chía eran suficientes para ayudar a cumplir el criterio de calidad de agua para uso agrícola.

Figura 42, Diseño filtro tanques almacenamiento



Nombre de la fuente: (Elaboración propia, 2018)

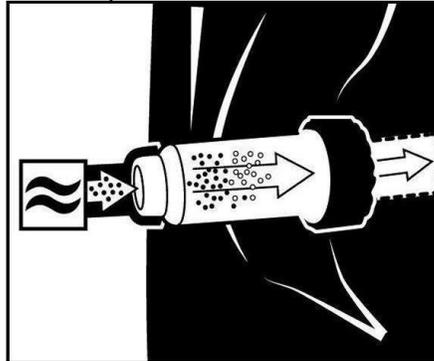
Desafortunadamente, al realizar una revisión de estos filtros se encontró que, en los filtros de arena y grava y carbón activado, se presentan obstrucciones por la cantidad de material presente, de igual forma presentan fugas a los bordes del sellado, lo que causa que la presión con la que llega el agua no sea la suficiente para que esta misma pase por todos los filtros hacia la salida, generando inundaciones en alguno de ellos. Por esta razón, y teniendo en cuenta que los procesos o cambios que se le tienen que realizar al recurso hídrico del reservorio no son muy altos, se hizo efectiva la compra de un filtro de entrada de agua Karcher K47300590, para el reemplazo de los filtros existentes, pero en mal estado que se encontraban en Campus Chía.

Figura 43. Filtro Karcher K47300590 en tanque de almacenamiento.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Figura 44. Funcionamiento filtro tanques almacenamiento.



Nombre de la fuente: Fusion 360

Tras adecuar el flujo de agua por los filtros, se pasó a asegurar y reforzar las conexiones entre estos, para que así lograrán una presión de agua mayor sin desconectarse. Para ello se empleó soldadura para tubería PVC y cinta teflón que se puede.

Se implementó el filtro ensamblado con las respectivas uniones en PVC para que no presente ninguna fuga, se ubicó en la entrada de agua de reservorio al tanque de almacenamiento, funcionando correctamente, reteniendo los posibles residuos u organismos que pueda traer el trayecto del agua.

7.2.5. Sistema organizacional tanques de almacenamiento

En la imagen 45 se observa el aumento de la altura del tanque 1, para que así el principio de Bernoulli actuara, esto se realizó por medio de rocas y tierra dispuesta en la zona, se aumentaron 50 cm en la altura.

Figura 45. Plataforma tanque 1.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

En la figura 46, se observa el tanque dispuesto en dicha plataforma y se realizaron las conexiones correspondientes a la entrada y salida del agua, junto con una cerca de rocas para evitar la afectación de estas conexiones al momento de realizar el corte del césped, además se añadió un manómetro adicional a la entrada del tanque para así regular la presión ejercida por la bomba de agua del reservorio de aguas lluvias.

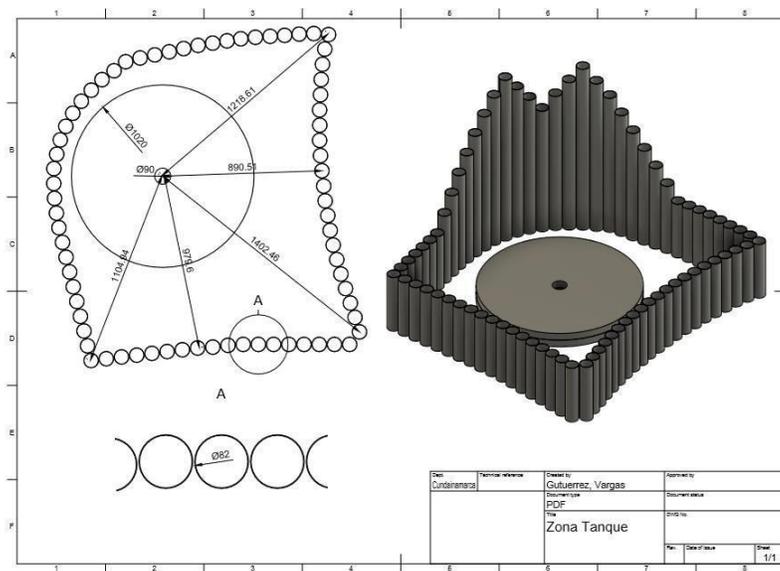
Figura 46. Cerca rocas y conexiones tanque 1.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Para la ubicación del tanque 2 se decidió realizar una zona en donde se encuentre tanto la zona de almacenamiento como la zona de distribución del recurso hídrico hacia los diferentes cultivos. A continuación, se muestra el diseño propuesto para esta zona del tanque 2.

Figura 47. Diseño zona de tanque 2 almacenamiento y distribución.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

El diseño anteriormente expuesto, se plantea para contener en su interior al tanque de almacenamiento y al sistema de distribución, el tanque se dispone en los aros de soporte observados en el diseño y lo rodea una cerca diseñada con tubos reciclados que se encuentran en campus Chía.

Figura 48. Construcción zona de tanque almacenamiento y distribución.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Figura 49. Posicionamiento tanque almacenamiento.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

De esta forma, con la nueva ubicación del tanque 2 se evita la obstrucción de algunos espacios, se recortan distancias y se mejora estéticamente. Luego de adecuar el espacio, se procedió a adecuar el tanque, puesto que este tendría que tener otra entrada y otra salida, para el ingreso del sistema bypass y la distribución hacia los domos y cultivo en suelo respectivamente, esta última además contaría con la implementación del sistema de

bombeo.

Figura 50. Construcción zona de tanque almacenamiento y distribución.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

7.2.6. Sistema bypass acueducto-tanques de almacenamiento

Figura 51. Conexión reservorio-caja de inspección. (A Antes, B Después, C Vista general)



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

En la figura 51 se puede observar el estado en el que se encontraba la tubería del caja de inspección antes de los cambios realizados, posteriormente en la figura 51 se observa cómo queda la entrada de agua del tanque a acueducto (L superior) y la salida de acueducto a tanque (L inferior) con los cambios ya hechos, pero aún sin terminar se procedió a realizar estas mismas entradas y salidas en el tanque de almacenamiento para posteriormente finalizar la conexión de caja de inspección ensamblando las mangueras respectivas.

Figura 52. Conexión Tanque almacenamiento reservorio - acueducto en caja de inspección.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Se realiza la conexión de la entrada de las aguas provenientes del acueducto hacia el tanque, con una manguera de media pulgada y las respectivas uniones PVC, para el sistema de control en el interior del tanque que es quien regula cuando se utiliza el agua de acueducto y cuando la de reservorio, se tienen dos sistemas diferentes, puesto que el sistema implementado en la imagen 52 podría tener inconvenientes en el llenado del tanque, estos detienen el flujo del agua respectivamente cuando esta alcanza su nivel deseado en el tanque (primer 50% acueducto, segundo 50% tanque). Posteriormente, se adecuó la salida del tanque, que permite la distribución a los domos, regresando estas aguas a la conexión de caja de inspección y cultivo en suelo, pasando por el sistema de bombeo que será implementado en el espacio dejado. Luego de que la adecuación de las entradas de salidas y entradas del tanque estuvieran correctamente instaladas, se procedió a finalizar las conexiones en la caja de inspección.

En la figura 53 se observa la conexión acueducto - reservorio finalizada, teniendo como resultado 3 llaves que permiten el flujo de agua o lo detienen, la primera, en la parte superior izquierda de la imagen, permite el flujo o no del agua que proviene directamente del

acueducto a los domos, la llave de la parte superior derecha permite el flujo del agua proveniente del tanque de almacenamiento hacia las tuberías de la caja de inspección cuando es posible usarla, y no se desea usar directamente la del acueducto, supliendo la distribución hacia los domos, por último en la parte inferior de la imagen, se observa la llave que permite el flujo de agua que proviene del acueducto hacia el tanque de almacenamiento, que logra su llenado del 50%.

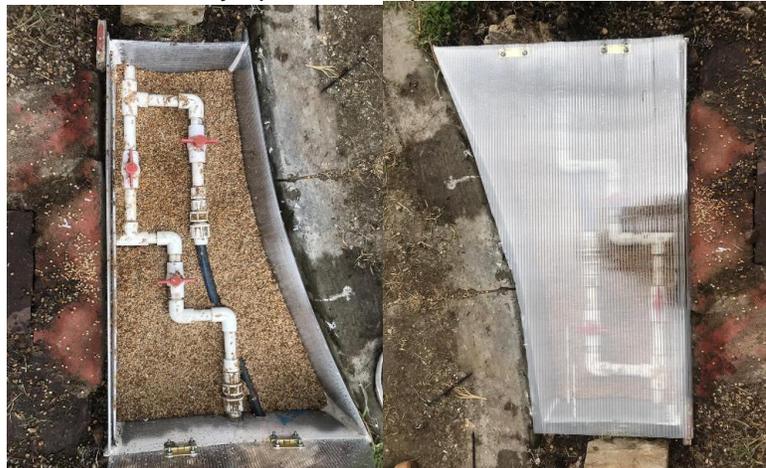
Figura 53. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Posteriormente se realiza la construcción de una caja protectora para el sistema de bypass implementado, esta caja se realiza con el fin de evitar que la capa de césped cubra las conexiones realizadas ya que es de importancia que estas queden a la mano del usuario por si se debe realizar alguna actividad de control o mantenimiento.

Figura 54. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

7.2.7. Sistema de bombeo tanques de almacenamiento- domos – cultivo

En el desarrollo del sistema de bombeo, se elaboró una estructura en formaleta, como se observa en la figura 55, previamente diseñada por el tutor académico, con el fin de ubicar el sistema completo de bombeo junto con el cableado requerido para darle energía al sistema.

Figura 55. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

En dicha caja, se dispuso de una bomba de agua de 55 PSI a 12V DC, junto con un tanque amortiguador, como se observa en la figura 56, con el fin de disminuir el choque de cierre de la bomba, evitando la disminución de la vida útil del sistema.

Figura 56. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Dicha caja del sistema de bombeo, se ubicó en la zona dispuesta para la distribución y almacenamiento del recurso hídrico en el tanque 2, como se observa en la figura 57, la caja del sistema queda a merced del usuario para su manipulación, encontrando allí un switch On/Off para el encendido de la bomba.

Figura 57. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Esta caja de bombeo se conectó al sistema de bypass implementado anteriormente, figura 58, ya que el bombeo va desde los tanques de almacenamiento hacia los domos de germinación y el cultivo en suelo, teniendo en cuenta los requerimientos del proyecto en cuanto a la presión requerida tanto por el acueducto como para la irrigación de los cultivos.

Figura 58. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Posteriormente se evaluó el sistema en funcionamiento, teniendo en cuenta la presión requerida y evaluando posibles fugas, además se tuvo que realizar el enterrado de aproximadamente 50 metros de manguera para llevar el recurso hídrico hasta el cultivo en suelo, evitando así posibles futuros accidentes en el corte del césped.

7.2.8. Llave adicional cultivo en suelo

Por requerimientos del proyecto, se realizó la implementación de una llave externa adicional en el costado sur del cultivo en suelo, esto con el fin de utilizarse para diferentes actividades

que requieran del recurso ya que allí, en el cultivo en suelo, se realizan prácticas por parte de los estudiantes. Como se observa en la figura 59, se ubicó madera de pino para exteriores y así evitar que esta se vea afectada por el clima de la zona, esta madera se usó como pilar para sostener la tubería correspondiente a la llave externa, para la alimentación con el recurso hídrico se realizó la conexión con el sistema de distribución del LEATYER, enterrando aproximadamente 30 metros de manguera.

Figura 59, Diseño estructura germinación



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas. 2018).

Como se observa en la figura 60, se instaló correctamente la llave externa ubicada al sur del cultivo en suelo.

Figura 61. Llave de agua externa en cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas. 2018).

7.2.9. Sistema de irrigación cultivo en suelo

Para el cultivo en suelo de LEATYER se implementaron dos métodos de irrigación diferentes, los cuales son riego por goteo y riego por aspersion, estos riegos se distribuyeron en: riego por micro aspersion, primeras cuatro camas de cultivo, riego por goteo 12 camas de cultivo.

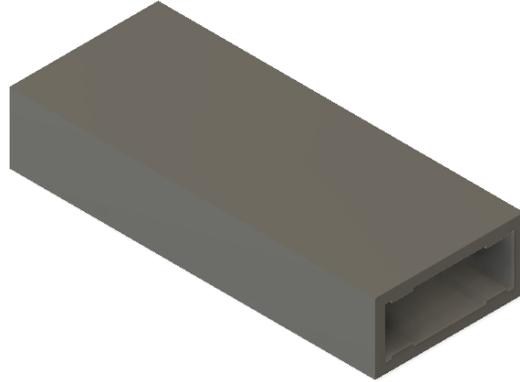
Figura 62, Zona cultivo en suelo, tipo de riego.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas. 2018).

El recurso hídrico que es utilizado para el cultivo, es proveniente del sistema de bombeo de los tanques de almacenamiento, es distribuido por medio de una manguera de $\frac{1}{2}$ " hasta el sistema de electroválvulas dispuesto al costado norte del cultivo, este sistema consta de una caja que contiene 16 electroválvulas 110 AC NPT $\frac{1}{4}$ ", cada una dispuesta para cada cama del cultivo en suelo, un microcontrolador HiLetgo-WROOM-ESP32s que será utilizado como microcontrolador maestro y dos racks de relé. Este microcontrolador se encarga de realizar el control de irrigación de las electroválvulas cuando es requerido y además envía y recibe información al usuario. El relé funciona como el interruptor On/Off de las electroválvulas. Esta caja está hecha de formaleta dimensionada, sus medidas son 28 x 15 x 69 cm. En la figura 63 se puede observar el modelado del objeto en Fusion 360.

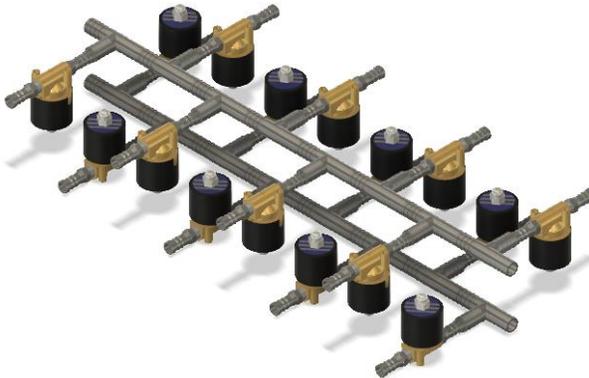
Figura 63, Zona cultivo en suelo, tipo de riego.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Igualmente el sistema de electrovalvulas de 110v AC se modelo para su posterior implementacion dentro de la caja de electrovalvulas.

Figura 64, Zona cultivo en suelo, tipo de riego.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

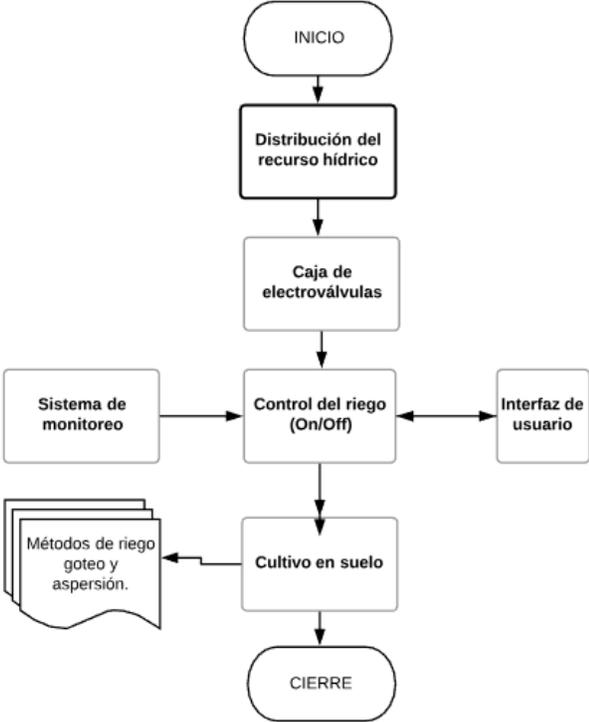
Debido a los planes a futuro que tiene la facultad de ingeniería para LEATYER, no se implementan los métodos de riego dentro del cultivo en suelo en el lapso de esta tesis, solo se realizaron las pruebas pertinentes en el cultivo, para determinar que todo funcionaba correctamente. Se plantea dejar listo todo el instrumental necesario para su construcción, para que sea implementado luego de que la facultad realice los cambios pertinentes en el cultivo.

Figura 65. Mangueras de riego cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Figura 66. Diagrama de bloques irrigación para el cultivo en suelo.

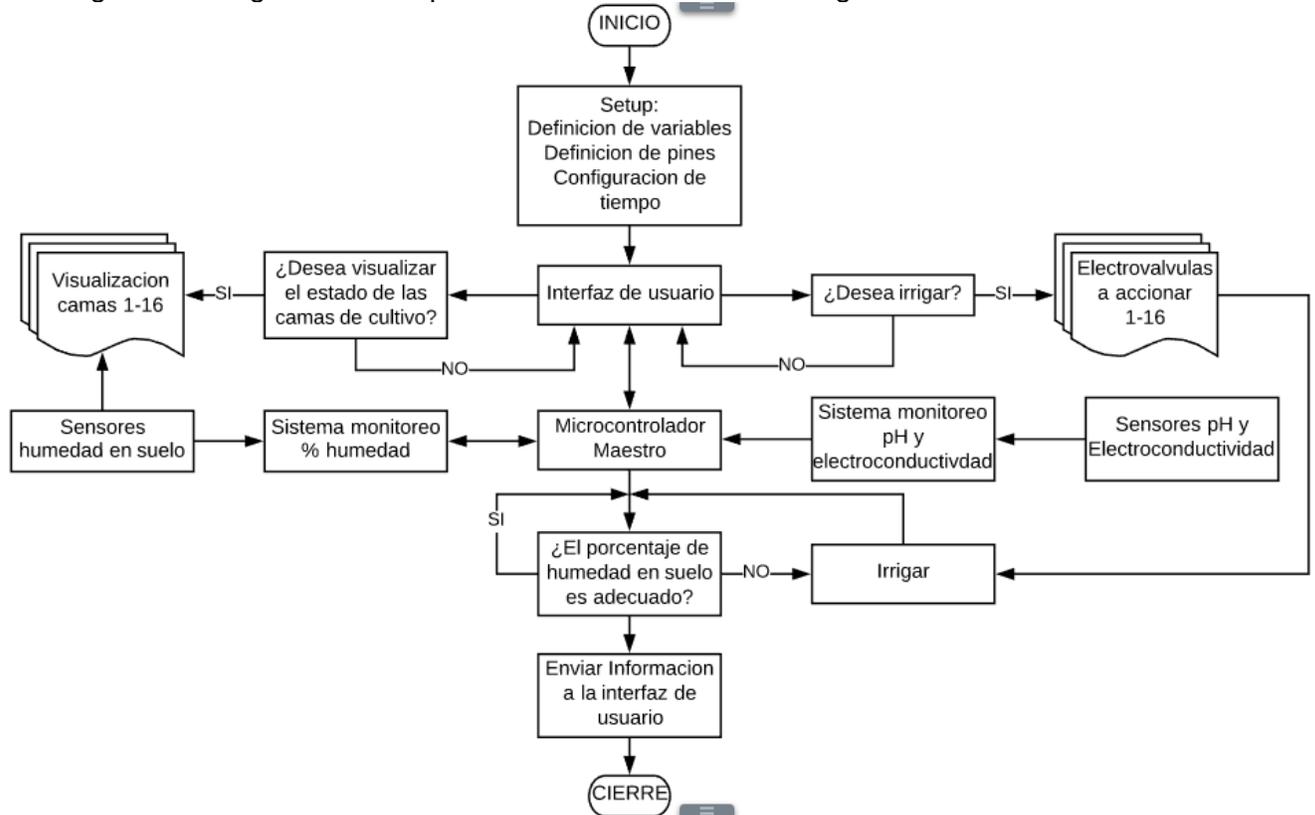


Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

7.2.10. Sistema de monitoreo y automatización general

A continuación, se muestra el diagrama de bloques del sistema de monitoreo y automatización, para el control de irrigación y seguimiento de las variables del recurso hídrico en LEATYER.

Figura 67. Diagrama de bloques sistema de monitoreo e irrigación



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Sistema de electroválvulas

Para llevar a cabo la construcción del sistema de electroválvulas se realizó la conexión de las mismas, según lo planteado en el modelo anterior, en la figura 68 se observa la electroválvula de 110v AC realizando la conexión con la Tee de riego para la distribución interna del recurso hídrico.

Figura 68. Llave de agua externa en cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

En la figura 69, observamos los dos grupos de electrovalvulas, en total 16, conectadas entre ellas para su posterior implementacion en la caja de electrovalvulas.

Figura 69. Llave de agua externa en cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Se realizó el corte de la formaleta dimensionada según las medidas expuestas en el diseño planteado, en la figura 70 se observa la formaleta dispuesta para su armado.

Figura 70. Llave de agua externa en cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Posteriormente se lleva a cabo el armado de la caja de electrovalvulas junto con el sistema de las electrovalvulas, figura 71.

Figura 71. Llave de agua externa en cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Figura 72. Llave de agua externa en cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Luego de esto se lleva a cabo la implementación del sistema de electroválvulas en la parte norte del cultivo en suelo.

Figura 73. Llave de agua externa en cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Se realizo la conexión con el recurso hidrico que brinda el sistema de bombeo del tanque 2.

Figura 74. Llave de agua externa en cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Posteriormente se realizó la conexión de cada manguera de riego para cada cama, teniendo en cuenta las 16 camas de cultivo presente en la zona.

Figura 75. Mangueras de la caja de electroválvulas



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Las 16 electroválvulas que se disponen para este sistema, se encuentran conectadas al rack de relés, estos reciben la información del microcontrolador maestro para generar una acción

de encendido y apagado según se requiera, cada electroválvula es controlada individualmente dependiendo de la cama del cultivo a la cual pertenece. La interacción con las electroválvulas también puede ser realizada desde la interfaz de usuario, controlando individualmente la irrigación. La interfaz se recomienda usarla en casos de emergencia puesto que el control es automatizado.

Figura 76. Conexiones del rack de relés y el microcontrolador



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Sistema de monitoreo del cultivo en suelo

Se instalaron 4 cajas de monitoreo, cada una tiene como referencia 4 camas del cultivo en suelo, estas se componen de un microcontrolador HiLetgo-WROOM-ESP32s y un Buck Converter HOMREE CPT C1205003, se encargan de recopilar la información suministrada por los sensores de humedad, envían el porcentaje de humedad para la visualización del usuario y controlan el riego suministrado por las electroválvulas (control On/Off) cuando es requerido. El Buck Converter se utiliza para transformar 12V a 5V, para la alimentación de los microcontroladores.

Figura 77. Llave de agua externa en cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Figura 78. Cajas de monitoreo para cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Figura 79. Componentes caja de monitoreo para cultivo en suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Sistema de monitoreo de las variables del recurso hídrico

Para el sistema de monitoreo de las variables pH y Conductividad eléctrica, se implementó un flotador en el tanque número dos, de esta manera se tienen los niveles de las variables del agua que se distribuye desde allí, hacia los domos y cultivo en suelo, esta información es recibida por el usuario de manera remota.

Figura 80. Mangueras de riego cultivo en suelo

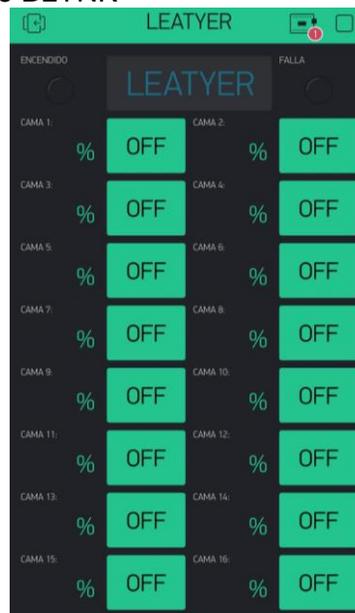


Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

7.2.11. Interfaz con el usuario

Para el desarrollo del telecontrol del proyecto, se utilizaron los microcontroladores HiLetgo-WROOM-ESP32s trabajando junto a el software BLYNK para realizar la interfaz de usuario. Desde esta interfaz se podrá visualizar el estado de las diferentes camas del cultivo en suelo, recibir notificaciones acerca del riego, y accionar el riego manualmente desde esta interfaz, seleccionando individualmente la electroválvula deseada.

Figura 81. Interfaz de usuario BLYNK



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

8. RESULTADOS

A continuación, se dan a conocer los resultados obtenidos a lo largo de la implementación del proyecto, en la figura 82, se da a conocer la finalización de la disposición de la manguera de riego bajo el suelo, evitando así que se produzcan accidentes al momento de realizar el corte del césped. Se llevó bajo suelo aproximadamente 150 metros de manguera flexible de 16 mm de diámetro, teniendo en cuenta la distancia entre el reservorio de aguas lluvias y los tanques de almacenamiento.

Figura 82. Adecuación manguera bajo el suelo



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

De igual forma se llevaron a cabo las reparaciones correspondientes a las afectaciones observadas en el LEATYER, cabe resaltar que en el transcurso del proyecto presentado en este documento, se realizaron 3 reparaciones adicionales, esto debido a que se realizaron labores de mantenimiento en los ductos de entrada del reservorio, labores de poda de césped y árboles, lo que causó cortes en la manguera por medio de las diferentes herramientas empleadas, cada caso se reporte y reparo, agregando por todo el trayecto una capa de tierra negra, como se observa en la figura 83, para permitir el crecimiento de césped, dándole así una protección adicional a la manguera de riego.

Figura 83, Reparaciones correspondientes manguera.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

En la figura 84, se observa el reservorio de aguas lluvias luego de la limpieza superficial realizada, extrayendo los sedimentos flotantes como hojas, ramas, césped, entre otros, dándole un mejor aspecto, esto disminuyo el nivel de sedimento en el reservorio y el envío del mismo hacia los tanques de almacenamiento y demás sistemas continuos.

Figura 84, Limpieza reservorio aguas lluvias.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio realizado, referenciando las tablas 4 y 5 anteriormente mencionadas y expuestas nuevamente a continuación, se implementó un sistema de filtrado en el reservorio de agua lluvia.

Tabla 4. Resultados del laboratorio físicos y químicos HidroLab.

Parámetro	Unidades	Resultados	Decreto 1076 de 2015	Concepto
Aluminio	mg/L Al	3.75	5.0	Cumple
Cadmio	mg/L Cd	<0.002	0.01	Cumple
Cobre	mg/L Cu	<0.10	0.2	Cumple
Hierro	mg/L Fe	0.38	5.0	Cumple
Plomo	mg/L Pb	<0.010	5.0	Cumple
Temperatura	C°	18.6	N.A.	-
pH	-	7.1	4.5 - 9.0	Cumple
Conductividad	S/m	130	N.A.	-

Fuente: (HidroLab, 2018)

Tabla 5. Resultados del laboratorio microbiológico HidroLab.

Parámetro	Unidades	Resultados	Decreto 1076 de 2015	Concepto
Coliformes totales	NMP / 100 mL	3.5 E+3	5000	Cumple
Coliformes fecales	NMP / 100 mL	170	1000	Cumple

Fuente: (HidroLab, 2018)

En la figura 85, se observa la implementación del sistema de filtro de malla en el sistema de bombeo, para que así, el sedimento enviado a la zona de tanques de almacenamiento disminuyese aún más.

Figura 85, Implementación de filtro de malla de filtro en reservorio.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Luego de recibir el recurso hídrico adecuado para riego agrícola en la zona de tanques de almacenamiento con una presión aproximada de 60 psi, se procedió a realizar la adecuación de dicha zona para establecer la organización de los dos tanques, como se observa en la figura 86, se tiene el tanque 1 con sus respectiva entrada, salida y sensor de nivel del recurso hídrico aportando 1000L de capacidad al sistema general.

Figura 86. Adecuación tanque uno.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

En tanque número 2, se adiciono un sistema de filtrado, para evitar aquellos sedimentos de pequeño tamaño que lograsen pasar por la filtración anterior, este se da a conocer en la figura

87, en donde se encuentra funcionando a la entrada del tanque 2, aportando otros 1000L al sistema general, dejándolo con un total de 2000 L.

Figura 87. Filtro Karcher K47300590 implementado en tanque de almacenamiento.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

En dicho tanque, número dos, se dispone de la entrada de agua por parte del acueducto, proveniente del sistema de bypass implementado, esta válvula se encargará de realizar el llenado del 50% de capacidad del tanque dos de agua del acueducto, es decir un total de 1500 L de agua provenientes del reservorio de aguas lluvias de Campus Chía y 500 L de agua proveniente del acueducto, la presión de entrada de la válvula de acueducto es de 18 psi.

Figura 88. Sensor nivel acueducto entrada tanque almacenamiento.

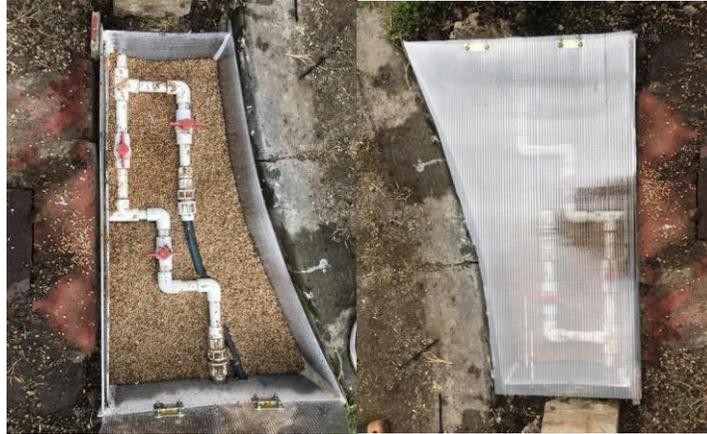


Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

El sistema de bypass controla el acceso del recurso hídrico proveniente del acueducto, es decir si se desea usar 100% proveniente del acueducto o si se desea el soporte del reservorio de aguas lluvias en una proporción de 75% proveniente del reservorio y un 25% del acueducto, teniendo en cuenta los 2000L de almacenamiento totales, además este sistema sirve para realizar el

mantenimiento de los sistemas previos a él, como se observa en la figura 89, el sistema ya implementado brinda el acceso a las diferentes conexiones presentes.

Figura 89. Válvulas de cierre y apertura tanque de almacenamiento – acueducto.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Uniando los sistemas anteriormente descritos, esboza el sistema observado en la figura 90, en donde se incluye la implementación del sistema de bombeo, el sistema de bypass y el almacenamiento del recurso hídrico, para posteriormente ser distribuido al cultivo en suelo.

Figura 91, Implementación sistema de almacenamiento y bombeo.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

En la figura 92 se detalla la vista interior del sistema de bombeo encargado de realizar la distribución del recurso hídrico hacia los domos y el cultivo en suelo, teniendo en cuenta los

requerimientos presentes en cada uno de los espacios, se bombeó el recurso a una presión de 45 psi, suficiente para el desarrollo y las actividades del LEATYER. Continuando con el sistema de bombeo, se contempla un tanque acumulador, el cual, por principio, absorbe el golpe generado por la desactivación de la bomba, este tanque se emplea con el fin de mantener la vida útil de la bomba de agua. El sistema de bombeo se alimenta por medio de las energías renovables dispuestas en el LEATYER.

Figura 92, Implementación sistema de almacenamiento y bombeo.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Por requerimiento de los docentes encargados, se llevó a cabo la instalación de una llave auxiliar de agua, como se observa en la figura 93, al costado sur del cultivo en suelo, con el fin de suplir la necesidad hídrica del cultivo, teniendo en cuenta las diferentes actividades que se realizan allí y las cuales se proponen a futuro.

Figura 93. Implementación llave de agua adicional.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

El sistema que determina la frecuencia de riego inicia por medio de la caja de electroválvulas, la cual se compone de las 16 electroválvulas, entrada del recurso hídrico y sistema electrónico

controlador ubicado en la caja de distribución, este sistema se encuentra ubicado en el costado norte del cultivo en suelo, posicionado en el centro de las camas de cultivo para una mejor distribución del recorrido de las mangueras para cada cama de cultivo. En la figura 94, se puede observar la caja de electroválvulas junto con el sistema electrónico de control de las mismas y la salida de cada electroválvula hacia la cama de cultivo correspondiente, teniendo en cuenta las 16 camas de cultivo.

Figura 94. Sistema de electroválvulas cultivo en suelo.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Para continuar con el sistema que determina la frecuencia de riego, se tiene el sistema de monitoreo y control de irrigación, como se observa en la figura 95, se implementaron las cajas de monitoreo, las cuales se encargan de recopilar la información de las 4 camas aledañas a la misma y enviarla tanto al usuario como al sistema de control principal para realizar el control de las electroválvulas automáticamente si así se requiere. Dentro de cada caja se encuentra el microcontrolador y el Buck converter.

Figura 95. Cajas de monitoreo cultivo en suelo.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Así mismo, se instalaron y realizaron las pruebas parciales de los sensores de humedad para el cultivo en suelo Gikfun EK1940, en donde se realizaron las lecturas de humedad de las diferentes camas.

Figura 96. Sensor de humedad cultivo en suelo.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

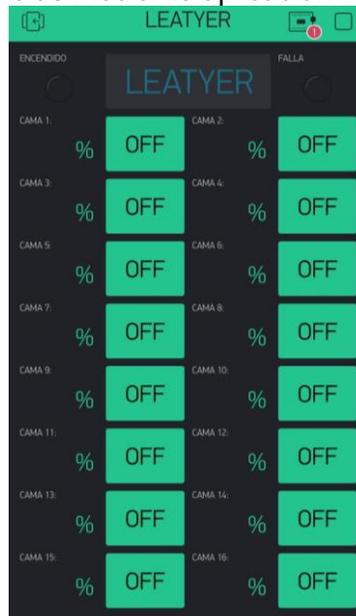
Se realizaron las pruebas parciales e individuales para las 16 electroválvulas, cada una de estas seguía las instrucciones del controlador On/Off para el flujo de agua, estas pruebas se realizaron directamente desde la aplicación creada por medio de la app Blynk, como se observa en la figura, se da la orden de encender determinada bomba y el microcontrolador principal recibe la orden y actúa directamente sobre la electroválvula implicada, en la imagen se observa inicialmente el encendido de las 8 electroválvulas y luego el encendido de las dos primeras.

Figura 97. Control electroválvulas mediante aplicación BLYNK.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

Figura 98. Control electroválvulas mediante aplicación BLYNK.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Con el flujo de agua hacia el cultivo funcionando correctamente, se realizaron las pruebas parciales para los métodos de riego por goteo y micro aspersión. Debido a lo explicado anteriormente acerca del porqué el sistema de riego no quedará instalado en el cultivo en suelo, teniendo en cuenta que al día de hoy se tiene en uso 200m² de los 400m² autorizados por facultad, las pruebas parciales realizadas se llevaron a cabo en las camas de cultivo que ya se encontraban en uso y en donde se encontraban diferentes plántulas, así se evaluó el funcionamiento de las electroválvulas, y la eficacia e instalación de los micro aspersores y los goteros, teniendo en cuenta que cumplieran la función de irrigar la zona específica.

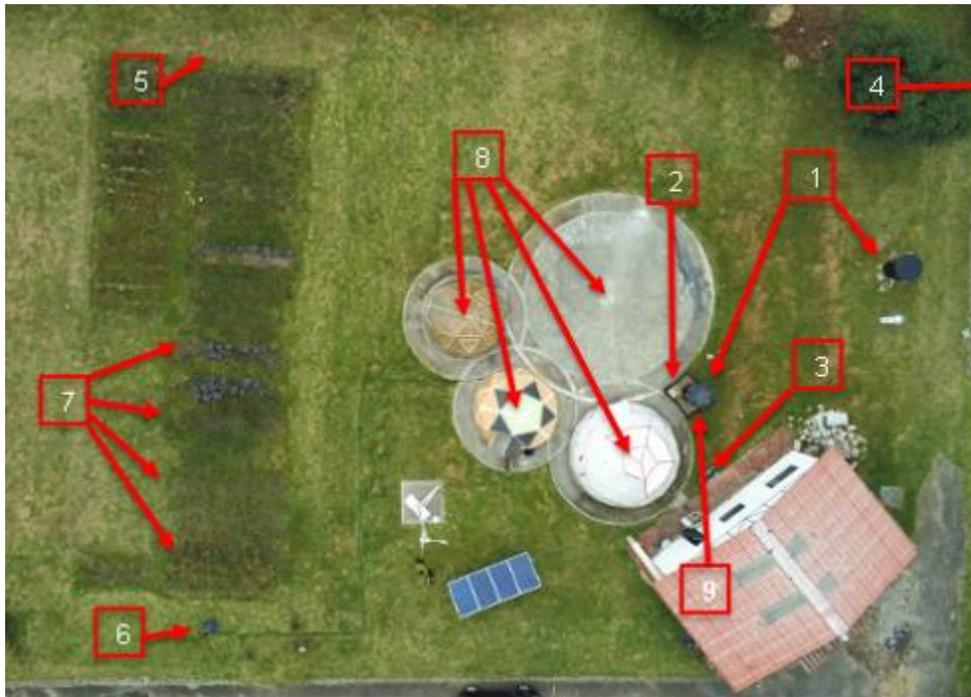
Figura 99. Métodos de riego para cultivo en suelo.



Nombre de la fuente: (Gutiérrez, Vargas, 2018).

En general se dispuso en el LEATYER de:

Figura 100. Diferentes sistemas del LEATYER.

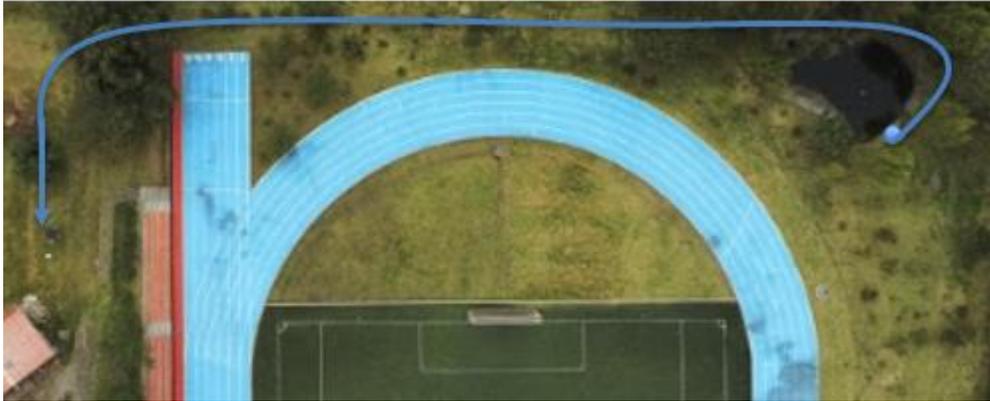


Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

1. Dos tanques de almacenamiento en serie con una capacidad de almacenamiento total de 2000L.
2. Sistema de distribución del recurso hídrico hacia el LEATYER en general.
3. Sistema de Bypass, acueducto-reservorio.
4. Sistema de filtro, reservorio aguas lluvias.
5. Llave auxiliar de agua.
6. Sistema de irrigación automático.
7. Sistema de monitoreo, humedad camas de cultivo.
8. Distribución de recurso hídrico a cada domo.
9. Sistema monitoreo, pH y EC tanque almacenamiento.

A continuación se da a conocer el recorrido final realizado con el recurso hídrico por el LEATYER:

Figura 101. Recorrido hídrico, zona reservorio.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

Figura 102. Recorrido hídrico, zona domos y cultivo en suelo.



Nombre de la fuente: (Gutierrez, Vargas, 2018).

9. DISCUSIÓN

En la etapa inicial del proyecto se realizó una evaluación de las diferentes áreas de LEATYER, en donde se determinó el estado de estas, debido a que la manguera que distribuía el agua hacia el tanque de almacenamiento se elevaba por el suelo, en el momento en que se realizaban las diferentes podas en Campus Chía, se ocasionaba el corte accidental de dicha manguera, por lo que al momento de revisar, esta presentaba fugas. Se decidió por ello, enterrar la manguera bajo suelo de 10 a 15 cm y así mitigar estos posibles cortes, sin embargo, en el transcurso del proyecto presentado en el documento, se presentaron nuevos cortes y afectaciones en la manguera por parte de funcionarios de mantenimiento del Campus Chía de la Universidad El Bosque, por ende se realizaron diferentes reuniones con el director del Campus Chía para dejar en claro el tipo de herramientas a usar en las zonas donde se realizó el entierro de los 150 metros aproximados de la manguera de distribución, esto concluyó en acuerdos mutuos para así evitar el daño a la manguera a futuro.

La implementación del filtro del reservorio se realizó para evitar la entrada de sedimento del suelo del reservorio por parte de la boquilla de la entrada del sistema de bombeo de esta forma se mejoran las características del agua a usar según la normatividad para uso del recurso hídrico en el riego agrícola, dicho filtro se realizó con materiales comunes, teniendo en cuenta que solo se requería la función de evitar el ingreso de sedimento al sistema de bombeo, esto influye en que el sistema de filtro del reservorio de aguas lluvias no requiera de un mantenimiento continuo a pesar de que el reservorio de aguas lluvias mantiene gran carga de sedimentos por la poda del césped, árboles y basura, esto da pie al crecimiento de microorganismos en el reservorio y en los sistemas allí implementados, aumentando la posibilidad del crecimiento microbiano y por ende variar las propiedades físico químicas y microbiológicas del reservorio.

LEATYER tenía en sus instalaciones dos tanques de almacenamiento, cada uno de 1000L de capacidad, de dichos tanques solo uno se encontraba en uso, para tener más reserva de agua para el proyecto se decidió implementar el segundo tanque, así se tendría una capacidad total de almacenamiento de 2000 L. Debido a las limitaciones energéticas en la zona perteneciente a los tanques de almacenamiento, no se realizó la implementación de un sistema de bombeo entre tanques, por el contrario, se utilizó el principio de Bernoulli para distribuir el agua de un tanque al otro, esto se da gracias a la fuerza gravitacional por la diferencia de altura entre ambos tanques. Teniendo en cuenta que el tanque número uno recibe una presión de entrada de 60 psi daba por el sistema de bombeo del reservorio de aguas lluvias, este realiza su llenado más rápido, teniendo

en cuenta que el tanque número dos recibe una presión de entrada directamente proporcional a la altura del tanque número 1. Al segundo tanque se le instaló un filtro de malla adicional para partículas pequeñas, con el fin de evitar el ingreso de posibles residuos que queden en el primer tanque y también pequeños animales como insectos que logren ingresar al sistema, al ser filtro de malla milimétrica, este requiere de un mantenimiento continuo ya que si no se realiza se podría obstruir y así evitar el ingreso del recurso hídrico proveniente del tanque 1.

La zona en donde se realizó la implementación del segundo tanque, fue idónea para la implementación del segundo sistema de bombeo y del sistema de bypass, teniendo en cuenta la distribución que realizó el acueducto al interior del LEATYER, ya que este se encuentra compartido con la casa de mantenimiento del Campus Chía de la Universidad El Bosque, el principal problema de esto fue que no se tenían planos del acueducto auténticos ya que dicha casa se encontraba en el terreno antes de construir el Campus Chía, por ende se tuvo que realizar una prueba con todas las salidas de agua del LEATYER para identificar el punto de distribución y así mismo analizar la viabilidad de la implementación del sistema de bypass sin afectar el recurso hídrico entrante a la casa de mantenimiento. El porcentaje de agua para la distribución el LEATYER es de 75% proveniente del reservorio y 25% proveniente del acueducto, teniendo en cuenta la capacidad total de 2000L, el 25% del agua proveniente del acueducto debe ser tomada como auxilio al sistema, solo si no proviene agua del reservorio de aguas lluvias, dicho lo anterior el reservorio de aguas lluvias brindara el 100% del recurso hídrico al sistema de distribución del LEATYER, por otro lado el sistema de bypass permite controlar la distribución de agua entre acueducto y tanques de almacenamiento, dependiendo del usuario o de la escasez de agua de alguno de los dos lugares, de esta forma se asegura el recurso hídrico permanente para LEATYER, sin embargo, el acueducto solo brindaría aproximadamente 500L, esto quiere decir que si el reservorio de aguas lluvias se encuentra en mantenimiento o en sequía, el LEATYER solo podría suplir sus necesidades con 500 L, limitando el uso del recurso en las actividades y los diferentes desarrollos que se realizan allí.

Después de realizar la implementación del sistema de bombeo en la zona 2 se logró distribuir el agua por los domos, cultivo en suelo y a la llave adicional con una presión adecuada de 40 psi para los métodos de riego que se utilizaron, riego por micro aspersion y por goteo, el sistema de bombeo implementado realiza la función de bombeo cuando el sistema al que está unido se encuentra en uso, si no, el sistema entra en modo de reposo, es decir que si existe alguna fuga de agua en el recorrido, la bomba podría esforzarse y disminuir la vida útil de la misma.

El agua se distribuyó con éxito al cultivo en suelo, en donde se encuentra el sistema de electroválvulas, estas electroválvulas presentaron inconvenientes en su implementación, debido a que la entrada de $\frac{1}{4}$ " que estas presentan no es común en el mercado nacional, por lo que se tuvo que usar diferentes tipos de uniones para su correcto funcionamiento. Estas electroválvulas y todos los sistemas electrónicos son alimentados gracias a los recursos energéticos brindados por el grupo de energías del macro proyecto del LEATYER. La programación para el control de las electroválvulas se realizó utilizando el software de Arduino, con las librerías de la aplicación Blynk, esta aplicación para celular sirvió de interfaz de usuario, puesto que es amigable y fácil de usar. Dicho programa se realizó para el funcionamiento de las 16 electroválvulas individualmente puesto que cada una distribuye agua a su respectiva cama de cultivo, estas electroválvulas se conectaron a dos rack de ocho relés de estado sólido cada uno, los cuales funcionan para el control On/Off de las mismas, dichos relés están controlados por el microcontrolador maestro, ESP32s, según el programa de automatización y según la petición del usuario.

Gracias a la aplicación móvil Blynk se logró recibir los datos de las variables de recurso hídrico como pH y electro conductividad, para monitorear la calidad de agua que se distribuye, arrojando el valor de dichas variables en la interfaz de usuario. Estos sensores se ubicaron en el tanque de almacenamiento número dos puesto que desde este tanque es donde se bifurca la distribución del recurso hídrico tanto para los domos como para el cultivo en suelo del LEATYER. Estas variables son únicamente de monitoreo por lo que no se puede interactuar con ellas para su posible control desde la aplicación móvil de Blynk. Este sistema de telecontrol resulta muy útil y práctico, puesto que no requiere el estado presencial de la persona y funcionando correctamente reduce el consumo de agua innecesario.

Debido a que es un sistema automatizado, debe ser capaz de evaluar y actuar por el mismo, por ello se instalaron sensores de humedad en las camas de cultivo en suelo, y cuatro cajas con un microcontrolador cada una, estos sensores de humedad envían el dato de porcentaje de humedad al microcontrolador correspondiente y cada microcontrolador por medio de protocolo TCP/IP envía la información vía WLAN al microcontrolador maestro, con lo establecido, este actúa dependiendo del porcentaje de humedad encontrado, enviando una señal al sistema de electroválvulas en el cual le indica qué cama está por debajo o por encima del nivel de humedad adecuado, de esta forma se irriga o no, y cuando el porcentaje llegue a niveles aceptables se dejará de irrigar.

El sistema de riego automatizado no se implementó completamente ya que se van a realizar obras de adecuación del terreno en el cultivo en suelo por parte de la facultad de ingeniería, por tal motivo se realizaron pruebas parciales y se entregan los diferentes sistemas funcionales, de tal modo, que el usuario o los docentes encargados puedan realizar el montaje del sistema de riego guiados por el manual de usuario. El sistema implementado sigue los lineamientos de implementación de diferentes sistemas de distribución hídrica implementados en diferentes sistemas de automatización, para este tipo de proyectos se sigue un modelo metodológico, ya que cada proyecto presenta diferentes variables de entrada y de salida, teniendo en cuenta el tipo de recurso hídrico a usar y la distribución de los diferentes sistemas a suministrar dicho recurso. Gracias al presente proyecto el LEATYER cuenta con un sistema de distribución del recurso hídrico apto para el riego agrícola y utilizando en su mayoría aguas lluvia, es decir, se disminuye el uso del agua proveniente del acueducto teniendo en cuenta que la agricultura es la industria que más utiliza dicho recurso, con este tipo de sistemas eso podría cambiar.

10. CONCLUSIONES

- Debido a los cambios futuros a realizar en el cultivo en suelo por parte de la facultad, el sistema de riego en la zona del cultivo no quedó completamente implementado debido a que puede sufrir afectaciones en las labores.
- La construcción del sistema de suministro de recurso hídrico para el Laboratorio de Experimentación Agrotécnica y de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería, permitirá una facilidad en las actividades o proyectos que se realicen en los domos y el cultivo en suelo, además reduce el consumo hídrico y ayuda a la germinación del cultivo para la producción de alimentos.
- La interacción directa desde la aplicación para el control de riego es para uso en casos de emergencia, puesto que el sistema deberá irrigar de forma automática cuando se requiera.
- Las características que presenta el agua proveniente del reservorio de aguas lluvias cumplen con los estándares para calidad de agua en uso agrícola según el Artículo 2.2.3.3.9.5. del Decreto 1076 de 2015, por ello las modificaciones en cuanto a filtros implementados fueron mínimas.
- Se implementó un sistema de adecuación del recurso hídrico, en el reservorio de aguas lluvias, para así evitar el paso de sólidos flotantes y sedimentos hacia el resto del sistema.
- Se desarrolló un sistema de distribución del recurso hídrico, adecuándose a los requerimientos de los espacios del LEATYER, entregando en general una presión de 40 psi, suficiente para los diferentes desarrollos existentes.
- Se desarrolló un sistema de monitoreo remoto de pH y electroconductividad, teniendo en cuenta que los cambios de dichas variables del recurso hídrico distribuido por LEATYER no son altos o significativos, las mediciones pueden realizarse una o dos veces por semana.
- Se desarrolló un sistema el cual determina la frecuencia de riego de manera controlada para cada uno de los espacios según requerimientos.
- Se desarrolló un sistema de suministro de recurso hídrico para el Laboratorio de Experimentación Agro Técnica y de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería.

11. REPORTE PRESUPUESTAL

Material/objeto	Cantidad	Costo (COP)
Abrazadera metálica	1	\$3.900
Acople LVM/LVP	1	\$22.900
Acople metal	2	\$29.800
Adaptador 1/2 hembra	1	\$2.600
Adaptador 1/2 H	5	\$12.000
Adaptador 1/2 M	6	\$16.200
Adaptador hembra 1/2	4	\$1.200
Adaptador macho 1/2	10	\$2.500
Amarre negro	1	\$2.000
Anjeo rollo	1	\$36.000
Arco 6pg de sierra	1	\$23.500
Basurero AB	1	19.900
Bisagra tipo báscula	1	\$9.900
Buck Converter homree	4	\$36.000
Buje roscado 1/2x3/8	1	\$900
Buje roscado 3/4x1/2	8	\$11.200
Buje soldado 1x1/"	1	\$1.300
Buje soldado 3/4x1/2	2	\$1.400
cable 2x14 1m encauchado	1	\$47.200
Cable duplex 2x16 2m	1	\$2.400
Caja de derivación	4	\$64.000
Cemento	1	\$15.900
Chapa escritorio cromada	1	\$11.900
Chapa escritorio latón	2	\$16.000
Cinta aislante	1	\$2.000
Cinta ducto 3m negra	1	\$20.900
Cinta pack 3 multicolor	1	\$7.000
Cinta teflon	4	\$6.000

Codo 1/2	4	\$12.000
Codo 1/2x1/2 H.M.	1	\$2.300
Codo manguera 16mm	2	\$27.100
Cordel nylon trenzado	1	\$3.900
Cruz manguera	1	\$20.000
Disco Diamantado segueta	1	\$27.900
Electroválvulas	18	\$950.000
Enlace recto manguera	4	\$19.600
ESP32s	4	\$120.000
Estacas	600	\$120.000
Filtro hidrolavadora	1	\$33.900
Flanche M.H. adaptador	2	\$28.000
flotador tanque	1	\$20.000
Flotador tubular	2	\$21.800
Formaleta dimensionada	3	\$87.800
Gravilla mona	3	\$55.500
Jumper hembra - hembra	2	\$16.000
Lámina de acrílico 20	1	\$21.000
Lámina de acrílico 29	1	\$8.500
Llave terminal plástico	1	\$6.900
Madera Pino 3,3m	1	\$10.900
Manguera 16mm	1	\$40.000
Manguera de riego 1/2	1	\$73.900
Manguera de riego 16pulg	1	\$68.900
Manguera flexible	3	\$60.000
Manómetro	3	\$54.300
Matera plástica	1	\$31.900
Micro conector	600	\$140.000
Microaspersores	10	\$5.000
Mini abrazaderas	4	\$14.300
Niple 1/2x1/2	1	\$2.700
Niple manómetro	5	\$11.200

Nylon 100mx0 50mm	1	\$8.900
Pegante PAVCO PVC	5	\$80.000
Pino 2x2" 3.2m	1	\$13.000
Pruebas de laboratorio	1	\$200.000
Rack relé	2	\$60.000
Rack solid state	1	\$60.000
Racor 1/4x1/2	2	\$16.000
Racores espigo 16mm	32	\$120.000
Reducción de 3/4x1/2	1	\$1.800
Rollo manguera 5 mm	1	\$14.000
seaflo pump 12VDC	1	\$240.000
Seaflo tanque acumulador	1	\$100.000
Sensor nivel	1	\$35.900
Sensores de humedad	18	\$108.000
Servicio corte acrílico	2	\$11.000
Set 40x40M	1	\$4.700
Set 5 hojas minisierra	1	\$10.900
Set MDF	1	\$900
SFT 3 tijeras de acero	1	\$15.900
Tapón soldado	1	\$2.000
Tee 1/2 presion	1	\$3.850
Tee 1/4 x 1/2	3	\$15.000
Tee 3/4 PVC	2	\$1.600
Tee manguera 16mm	5	\$33.800
Tee mixta 1/4" prestoloc	1	\$8.500
Tornillo	1	\$1.900
Tornillo aglomerado	6	\$10.200
Tornillo bristol mm 4x30	32	\$7.500
Tornillo madera aglomerado	2	\$3.600
Transporte	NA	\$300.000
Tubo 1/2x3m	1	\$37.900
Tuerca hexagonal	1	\$1.100

Unión H.H de 1/2	3	\$8.400
Unión H.M 1/2	1	\$2.100
Unión pf + UAD 1/2	3	\$10.100
Unión PVC 1/2	2	\$3.400
Unión PVC 3/4	3	\$1.500
Unión PVC H.H 3/4	1	\$1.900
Válvula bola PVC 1/"	1	\$7.000
Válvula cierra/apertura 16mm	1	\$1.200
Válvula entrada lateral	1	\$35.900
Válvula PVC 1/2	2	\$8.400
Válvula reguladora 1/2	1	\$9.300
Wemos d1lite	1	\$20.000
	TOTAL:	\$4.178.950

12. RECOMENDACIONES

- Para mejorar el sistema de electroválvulas implementado, realizar las conexiones por medio de cobre, realizando soldadura entre la tubería de cobre y las electroválvulas para que así puedan resistir mayor presión proveniente del sistema de bombeo y evitar posibles fugas.
- Es recomendable tener los tanques de almacenamiento llenos constantemente, de esta manera se utiliza el agua proveniente del reservorio y se evita el uso del agua del acueducto.
- Es recomendable el mantenimiento mensual del sistema, de esta forma se realiza una revisión de posibles fugas, estados de los sistemas electrónicos y calidad del agua.

BIBLIOGRAFIA

- Blair, E. (1981). IV Seminario Latinoamericano sobre riego por goteo. IICA Biblioteca Venezuela.
- Canales, A. R., & Martínez, J. M. M. (2010). Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Marcombo.
- Capraro, F., Tosetti, S., & Serman, F. V. (2010). Laboratorio Virtual y Remoto para Simular, Monitorizar y Controlar un Sistema de Riego por Goteo en Olivos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 7(1), 73-84.
- Castro Popoca, M., Águila Marín, F. M., Quevedo Nolasco, A., Kleisinger, S., Tijerina Chávez, L., & Mejía Sáenz, E. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. *Agricultura técnica en México*, 34(4), 459-470.
- Decreto 1076, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, Colombia, 26 de mayo de 2015.
- Decreto 3930, Corporación Autónoma Regional de Magdalena., Jurisdicción de CORPAMAG, Colombia, octubre de 2010.
- Díaz Pulido, A., Chingaté Hernández, N., Muñoz Moreno, D., Olaya González, W., Perilla Castro, C., Sánchez Ojeda, F., & Sánchez González, K. (2009). Desarrollo sostenible y el agua como derecho en Colombia (pp. 85-92). Bogotá, Colombia: Universidad Javeriana. *Estud. Socio-Juríd.*
- Ecured.cu. (2011). Presión - EcuRed. [online] Available at: <https://www.ecured.cu/Presi%C3%B3n> [Accessed 15 Jul. 2018].
- Emerson Electric Co. (2017). Sensores de conductividad. Consider it solved. Recuperado de: <http://www2.emersonprocess.com/es-ES/brands/rosemountanalytical/Liquid/Sensors> [Accessed 21 Jul. 2018].
- FAO, (2002). Agua y Cultivos. Roma: Departamento de desarrollo sostenible. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/005/y3918s/y3918s00.htm#TopOfPage> [Accessed 17 Jul 2018].
- Ferreya, E., Contreras, W., Ahumada, B., Valenzuela, B., & Bravo, V. (2003). Manejo de riego por

goteo en uva de mesa cv. Thompson Seedless cultivada en suelos de textura fina. *Agricultura Técnica*, 63(2), 180-192.

Fibrasynormasdecolombia.com. (2004). Definiciones [online] Available at: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/calidad-del-agua-definicion-factores-y-criterios/> [Accessed 22 Aug. 2018].

Fibrasynormasdecolombia.com. (2004). Definiciones [online] Available at: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/caudal-definicion-y-metodos-de-medicion> [Accessed 22 Aug. 2018].

G. (2016). El agua. *Anales del instituto de investigaciones estéticas* (pp. 241) doi:10.22201/iie.18703062e.2016.108.2573

García, M., Sánchez, F., Marín, R., Guzmán, H., Verdugo, N., Domínguez, E., . . . Cortes, <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+Eléctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>. [Accessed 15 Aug. 2018].

IDEAM. (2006). Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas. Bogotá. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co>. [Accessed 1 Aug. 2018].

INCAP, . (2006). Hidroponía sistema de cultivo NFT (pp. 1-4). Incap. Retrieved from http://www.incap.int/portaleducativo/index.php/es/recursos/reservorio-san/doc_view /425-ficha-tecnologica-6-sistema-nft [Accessed 15 Aug. 2018].

Ladino, Y. T. R., Ordóñez, L. F. R., & Miranda, J. P. R. (2017). Evaluación de un filtro percolador sin recirculación con medio de soporte en PVC para el tratamiento de aguas residuales combinadas (domésticas y pecuarias). *I+ D REVISTA DE INVESTIGACIONES*, 9(1).

Levenspiel, O. (2004). *Flujo de fluidos e intercambio de calor*. Reverté.

Ley N° 09, Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Bogotá, Colombia, 24 de Enero de 1979.

Magám Cañadas, J. Recirculación de las soluciones nutritivas. Manejo y control microbiológico. Infoagro.com. Retrieved 15 August 2017, from http://www.infoagro.com/abonos/docs/recirculacion_nutritiva.htm

MARIA, S. (1997). Sistemas de riego.

Medina Valdovinos, E. K., Mancilla Villa, O. R., Larios, M. M., Gutiérrez, G., Darío, R., Olgún López, J. L., & Barreto García, O. A. (2016). Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco. *Idesia (Arica)*, 34(6), 51-59.

Mendoza Samperio, G. C., Ortiz Cerna, M. A., Ponce De León Arizmendi, L., & Rodríguez López, W. (2007). Sistema de riego automatizado (Doctoral dissertation).

Mendoza, J. C., Gruber, L., Torrealba, C., & Lugo, J. G. (2010). Diseño, construcción y evaluación de un equipo automatizado para riego por microaspersión. *Bioagro*, 22(3), 235- 238.

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (2014) Sistemas de filtrado. Gobierno de España. Recuperado de: <http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/filtrado.aspx#>. [Accessed 10 Aug. 2018].

Molina, M. D. M., & Martínez, P. (2002). Sistema computarizado para la gestión del agua en sistemas de riego por gravedad en México. *Ingeniería del agua*, 9(2), 171-181.

Nandhini, M., Usha, M., & Palanivelu, P. (2012). Brand Preference Towards Water Filters An Analysis. *i-Manager's Journal on Management*, 7(1), 38.

Nerur, S., Mahapatra, R., & Mangalaraj, G. (2005). Challenges of migrating to agile methodologies. *Communications of the ACM*, 48(5), 72-78.

ONU, (2017). Agua y desarrollo sostenible | Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015. Un.org. Retrieved 15 August 2018, from http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml

Radulovich, R. A. (1994). Captación de agua de lluvia en el hogar rural (No. 220). Bib. Orton IICA/CATIE.

Redhat.com. (2018). ¿Qué es la automatización? [online] Available at: <https://www.redhat.com/es/topics/automation/whats-it-automation>. [Accessed 11 Aug. 2018].

Roa, Zea. (2017). Fase de diseño y construcción de un cultivo hidropónico para el desarrollo del laboratorio de experimentación agropecuaria y de energías renovables de la facultad de ingeniería. Bogotá, Colombia: Universidad El Bosque.

Romero-Gómez, M., Soriano, T., Casadesús, J., Suárez-Rey, E. M., Antón, A., Montero, J. I., & Castilla, N. (2009). Estudio de estrategias de refrigeración por nebulización de baja presión en el microclima de un invernadero de malla. *Acta de Horticultura*, 54, 499-504.

Saez, A. (2016). Contenido. Educación y humanismo () Universidad Simón Bolívar. doi:10.17081/eduhum.18.31.2356

San Juan, J. A. M. (1985). Riego por goteo: teoría y práctica. IICA Biblioteca Venezuela.

Sistemas de Riego | agrícola, goteo, automático. (2016). *Novedades-agricolas.com*. Retrieved 15 August 2017, from <http://www.novedades-agricolas.com/es/riego/sistemas-de-riego>

Smart fertilizer management. (2016). Conductividad eléctrica del agua. Recuperado de: <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/pH-in-fertigation>

Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (1995). El riego por aspersión y su tecnología. Madrid: Mundi- Prensa.

Tena, M. (2018). ¿Qué es metodología agile? Abril 08, 2019, de Banco BBVA Sitio web: <https://www.bbva.com/es/metodologia-agile-la-revolucion-las-formas-trabajo>

Trejo Téllez, L. I., & Gómez Merino, F. C. (2012). Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. In T. Asao (Ed.), *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches* (pp. 1– 23).

Rijeka, Croatia: InTech. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/221928014_Nutrient_Solutions_for_Hydroponic_Sy

stems. [Accessed 15 Aug. 2018].

Zamudio Rodríguez, C. (2012). Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos. *Gestión y Ambiente*, 15(3).